ПРЕДИСЛОВИЕ

Вода – драгоценный дар природы, обеспечивающий жизнь на Земле. Естественное распределение ее запасов не очень удобно для человека; большую часть водной массы составляют соленые моря и океаны. Пресная вода доступна нам далеко не вся: значительная ее часть «законсервирована» в виде льда или таится глубоко под землей. Лишь доли процента земных ресурсов пресных вод имеются в нашем распоряжении. Положение осложняется тем, что все больше растет потребность в воде и все больше ее расходуется. В 1900 году потребление воды в мире составляло 400 км^3. По прогнозам на 2000 год потребление воды достигнет 6000 км^3 (рис. 1.1).

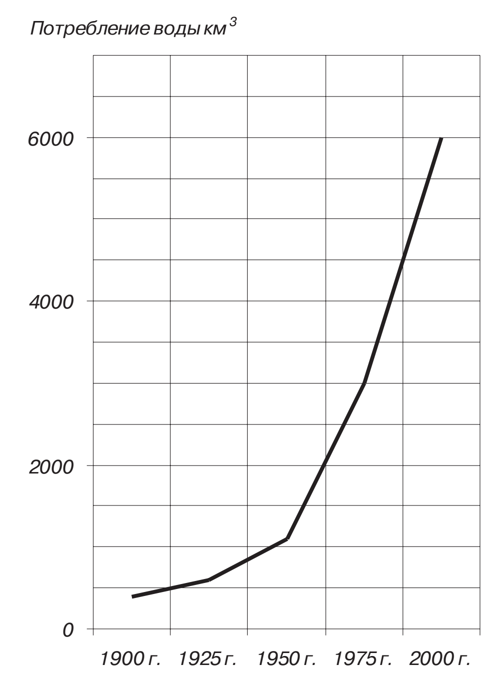


Рис. 1.1. **Потребление пресной воды в мире**

Не удивительно, что нарастающее расходование этого важного природного компонента всерьез беспокоит человечество. Сегодня мы явственно ощущаем исчерпаемость водных запасов.

Проблема разумного отношения к природе и использования ее ресурсов приобретает наибольшую остроту среди важнейших проблем науки и техники. От того, насколько оперативно и верно она будет решена, зависит здоровье и благосостояние ныне живущих и будущих поколений людей.

ЧТО ТАКОЕ ВОДА

Как появилась вода и сколько ее на нашей планете

«Тобою наслаждаются не ведая, что ты такое», – обращался к воде Антуан де Сент-Экзюпери. Тот самый, что написал прекрасную сказку о маленьком принце. И там вода играла не последнюю роль: принц постоянно помнил, что надо поливать свою единственную розу, оставленную на далекой родной планете.

Мы не можем прожить без воды и нескольких дней. Между тем долгие столетия люди не только не знали, что она собой представляет, но не знали даже, сколько ее на Земле. И уже совсем было неясно, как появилась она на планете.

Вода была еще до появления человека: есть все основания полагать, что жизнь возникла в водной среде. А до возникновения жизни?

Вода – активный созидатель нашей планеты, один из ее основных «строительных материалов».

Миллиарды лет назад в холодном газопылевом облаке, со временем сгустившемся, уплотнившемся и ставшем Землей, уже содержалась вода. Скорее всего, она была в виде ледяной пыли. Это подтверждают исследования Вселенной. Установлено, что исходные элементы для образования воды – водород и кислород – в нашей Галактике принадлежат к шести самым распространенным веществам космоса.

Скопления молекул воды и гидроксидных радикалов обнаружены за пределами Солнечной системы. В созвездиях Кассиопеи и Ориона найдены облака, состоящие из молекул воды. Размеры облаков колоссальны – их протяженность в 40 раз превышает расстояние от Солнца до Земли. Нередки случаи падения на Землю остатков кометных ядер – «посланцев» далеких миров. Чаще всего они представляют собой гигантские глыбы льда, смерзшегося с метаном, аммиаком и минеральными частицами. Вес достигших Земли ледяных глыб может достигать сотен килограммов.

Многолетними исследованиями геологических процессов, происходящих на нашей планете, академик АН Украины Н.П. Семененко установил, что именно вода и составляющие ее элементы играли определяющую роль во всей геологической истории Земли. Исследуя содержание кислорода в составе земной коры, ученый сделал вывод, что в образовании протоземли[1] участвовали громадные количества воды. Помимо этого, ее элементы входили в состав основных компонентов исходного облака: водород – в состав гидридов металлов, кислород – в состав оксидов.

Согласно теории академика А.П. Виноградова, протоземное облако постепенно уплотнялось и саморазогревалось. Источником необходимой энергии служили процессы радиоактивного распада и уплотнения первичного вещества планеты. С незапамятных времен в недрах планеты происходят глубинные физико-химические процессы. Там развиваются чудовищные давления и температуры; исходные вещества при этом испытывают сложные превращения. В результате образуются паро- и газообразные соединения, причем большинство из них состоит из воды или составляющих ее элементов.

Согласно геохимической модели нашей планеты, созданной Н.П. Семененко, зем-

[1] Прот(о)... [гр. protos первый] – первая составная часть сложных слов – 1) означающая: первоначальный, первый, например, прототип; 2) соответствующая по значению словам «высший», «старший», «главный», например, протоиерей.

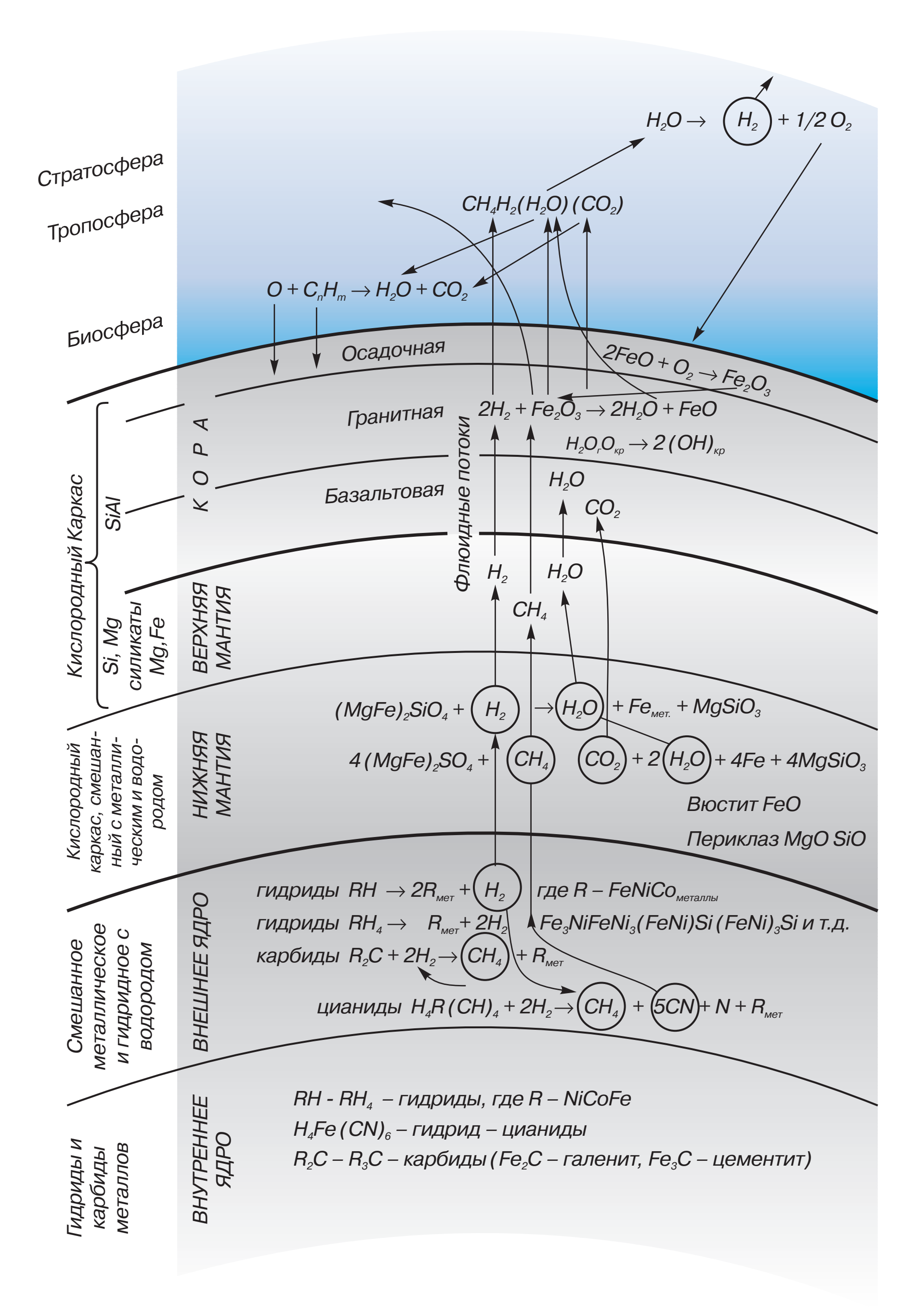


Рис. 1.2. ***Геохимическая модель Земли***

ная кора, состоящая из окисленных пород, является своеобразным кислородным каркасом, а ядро планеты слагают гидриды нескольких металлов и частично карбид железа. В зонах самых высоких давлений и температур выделяются, преимущественно, водород и углеводороды. Дальше от центра планеты эти вещества взаимодействуют с окисленными породами – образуются водяной пар и углекислый газ. Эти соединения постоянно выделяются на поверхность через жерла вулканов, через всевозможные наземные и подводные трещины и разломы земной коры (рис. 1.2).

По подсчетам Н.П. Семененко, за всю историю существования Земли на ее поверхность таким образом выделилось около $3{,}4 \cdot 10^9$ км^3 воды. Треть этого количества в парообразном состоянии покинула поверхность планеты, а под воздействием Солнца значительная часть фотодиссоциировала[1] на водород и кислород.

Остальная масса воды, очевидно, постепенно составила гидросферу. Появившись на поверхности планеты таким сложным путем, вода не стала инертной, пассивной средой. Вместе с парами воды выделялись не только оксиды углерода, но и соединения азота, фосфора, серы, которые вместе с кислородом, углеродом и водородом составляют химическую основу жизни. Наиболее благоприятные условия для появления и развития жизни создались в водной среде. «Именно вода гидросферы явилась той обязательной, незаменимой средой, в которой происходило формирование наиболее сложных органических соединений, послуживших в дальнейшем материалом для построения тел живых существ. Вода и сейчас является наипростейшим, но количественно преобладающим химическим компонентом «живой материи» – всей совокупности организмов, населяющих нашу планету», – так оценивает роль воды в возникновении биосферы биохимик А.И. Опарин.

В настоящее время подсчет количества воды на Земле выполнен со всей точностью, доступной современной науке. Эту работу ученые проделали в рамках программы Международного гидрологического десятилетия 1964...1974 гг. Результаты этой работы опубликованы в многотомном труде «Мировые водные ресурсы и водный баланс земного шара».

Установлено, что гидросфера – океаны, моря, реки, озера, болота, атмосферная влага – измеряется внушительной величиной – $1{,}385 \cdot 10^9$ км^3 воды, или $1{,}4 \cdot 10^{19}$ т. Три четверти поверхности планеты покрыто водой.

Космонавты неоднократно отмечали, что из космоса Земля выглядит голубой планетой с относительно небольшими вкраплениями суши. Голубая планета? Пожалуй, не планета, а только ее тонкая оболочка. Если распределить всю воду равномерно по поверхности земного шара, средний радиус которого 6370 км, получится пленка толщиной менее 3 км. Не много воды в общем объеме планеты. К тому же, основную часть нашего водного потенциала составляет вода, которой не напьешься, не используешь ни в промышленности, ни в сельском хозяйстве, ни в быту. 97,75% или $1{,}338 \cdot 10^9$ км^3, – это соленые воды океанов и морей. Остальные 2,25% – пресные воды, однако, половина их – $24 \cdot 10^6$ км^3 – «законсервирована» в виде ледяных гигантских шапок Антарктиды, Арктики, Гренландии, высоких гор в различных районах Земли. Примерно столько же воды – $23{,}4 \cdot 10^6$ км^3 – скрыто от людских глаз в толще земной коры. Это подземные воды.

Объем доступной пресной воды исчисляется уже не миллионами, а тысячами кубических километров. Больше всего пресной воды на земной поверхности накоплено в озерах – $176{,}4 \cdot 10^3$ км^3. Если на мгновение задержать течение всех рек земного шара, то оказалось бы, что в их руслах одновременно находится 2120 км^3 воды.

Истоки множества рек, больших и малых, находятся в болотах, которые содержат 10300 км^3 пресной воды. 13000 т воды содержится в ближайших к земной поверхности слоях атмосферы. На высоте до 1 км концент-

[1] Диссоциация [лат. dissociatio разъединение, разделение] – хим. распад молекул на составные части.

рация водяного пара в воздухе в среднем составляет 2%.

Вот, пожалуй, и вся вода, на которую может реально рассчитывать человечество теперь и в ближайшем будущем.

Так ли проста вода

«Простейшее устойчивое соединение водорода с кислородом», – такое определение воды дает Краткая химическая энциклопедия. Все верно, только простейшее в химии – это далеко не простое.

До XIX века люди не знали, что вода – химическое соединение. Ее считали обычным химическим элементом. Лишь в 1805 году Александр Гумбольдт и Жозеф Луи Гей-Люссак установили, что вода состоит из молекул, каждая из которых содержит два атома водорода и один кислорода.

После этого свыше ста лет все и всюду считали, что вода – индивидуальное соединение, описываемое единственно возможной формулой H_2O.

Недостаточность этого положения выяснилась лишь в 1932 году. Мир облетела сенсация: кроме воды обычной, в природе существует еще и тяжелая вода. В молекулах такой воды место водорода занимает его тяжелый изотоп – дейтерий.

Тяжелую воду открыли американские физики Гаральд Юри и Эльберт Осборн. В 1933 году американец Герберт Льюис совместно с Ричардом Макдональдом впервые выделили ее в чистом виде.

В небольших количествах тяжелая вода постоянно и повсеместно присутствует в природных водах, внешне совершенно не отличаясь от обычной воды. Различить их можно лишь по физическим характеристикам. В молекулу тяжелой воды входят атомы не легкого водорода – протия (^1H), а его изотопа – дейтерия (^2D), атом которого на единицу тяжелее протиевого, следовательно, молекулярный вес тяжелой воды на 2 единицы больше: 20, а не 18[1].

Формула тяжелой воды D_2O. Она на 10% плотнее обычной, ее вязкость выше на 23%. Она кипит при 101,42°С, а замерзает при +3,8°С.

Такие особенности позволяют понять неравномерность содержания тяжелой воды в тех или иных природных водах. Например, в замкнутых водоемах ее больше, так как по сравнению с обычной водой она испаряется менее интенсивно. Поэтому тяжелой воды больше в местностях с жарким климатом. Обогащается дейтерием и поверхность океана на экваторе и в тропиках, тем более что свою лепту вносят частые атмосферные осадки, при образовании которых идут процессы конденсации воды из паровой фазы (см. далее), а тяжелая вода конденсируется быстрее, чем легкая, следовательно, осадки обогащены тяжелой водой. Однако для океанской поверхности повышенное содержание тяжелой воды характерно лишь на низких широтах.

Вблизи полюсов свои особенности. В высоких южных широтах (в Антарктике) океанские воды заметно «легче». В этом сказывается влияние талых вод антарктических айсбергов, которые отличаются наиболее низким содержанием дейтерия на планете.

Невелика доля дейтерия и во льдах Гренландии, тем не менее, океанские воды высоких северных широт обогащены тяжелой водой. Тут сказывается таяние «тяжелых» арктических льдов.

Собственно тяжелая вода D_2O в природе находится в ничтожных количествах – в миллионных долях процента. Преобладает ее разновидность, состав которой можно выразить формулой HDO.

Тяжелая вода – очень важное промышленное сырье, эффективный замедлитель быстрых нейтронов. Поэтому уже сейчас ее широко применяют в различных реакторных установках. А в будущем тяжелая вода может стать сырьем для термоядерной энергетики: 1 г дейтерия при термоядерном распаде дает в 10 млн. раз больше энергии, чем 1 г угля

---

[1] Молекулярная масса, значение массы молекулы, выраженное в атомных единицах массы. Одна атомная единица массы равна 1/12 массы нуклида углерода ^{12}C, что составляет $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг.

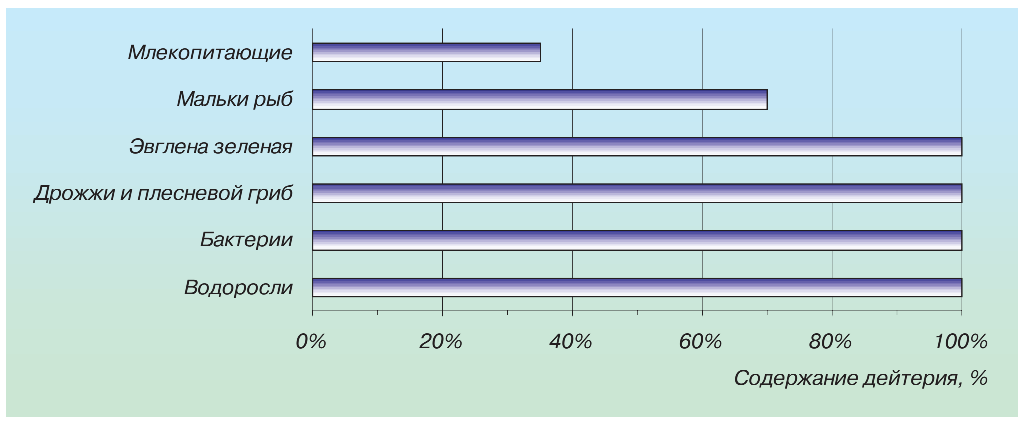


Рис. 1.3. **Выживаемость организмов в воде, содержащей дейтерий**

при сгорании. В Мировом океане содержится 10^{15} тонн HDO.

Открытия последних лет показали, что тяжелая вода играет немалую роль в биологических процессах. Это и понятно, ведь она является постоянной и повсеместной примесью природных вод. Систематическое изучение ее воздействия на животных и растения начато сравнительно недавно. Различные исследователи независимо друг от друга установили, что тяжелая вода действует отрицательно на жизненные функции организмов; это происходит даже при использовании обычной природной воды с повышенным содержанием тяжелой воды (рис. 1.3).

Подопытных животных поили водой, 1/3 часть которой была заменена водой состава HDO. Через недолгое время начиналось расстройство обмена веществ животных, разрушались почки. При увеличении доли тяжелой воды животные погибали.

На развитие высших растений тяжелая вода также действует угнетающе; если их поливать водой, на половину состоящей из тяжелой воды, рост прекращается (рис. 1.4).

Пониженное содержание дейтерия в воде стимулирует жизненные процессы. Такие данные получили Б.И. Родимов и И.П. Торопов. Они долгое время наблюдали за растениями и животными, потреблявшими воду, в которой содержалось дейтерия на 25% ниже нормы. Оказалось, что, потребляя такую воду, свиньи, крысы и мыши дали потомство, гораздо многочисленнее и крупнее обычного, яйценоскость кур поднялась вдвое, пшеница созрела раньше и дала более высокий урожай.

Первые результаты изучения тяжелой воды показывают, сколько необычных свойств таит такое обыкновенное вещество, как вода.

Открытие тяжелой воды послужило толчком к выяснению фракционного состава воды. Вскоре была обнаружена сверхтяжелая вода T_20. В ее составе место водорода занимает его природный изотоп, еще более тяжелый, чем дейтерий. Это тритий (T), он радиоактивен, атомная масса его равна 3. Тритий зарождается в высоких слоях атмосферы, где идут природные ядерные реакции. Он является одним из продуктов бомбардировки ато-



Рис. 1.4. **Влияние концентрации дейтерия на рост высших растений**

мов азота нейтронами космического излучения. Ежеминутно на каждый квадратный сантиметр земной поверхности падают 8...9 атомов трития.

В небольших количествах сверхтяжелая (тритиевая) вода попадает на Землю в составе осадков. Во всей гидросфере одновременно насчитывается лишь около 20 кг $T_2 0$. Тритиевая вода распределена неравномерно: в материковых водоемах ее больше, чем в океанах; в полярных океанских водах ее больше, чем в экваториальных. По своим свойствам сверхтяжелая вода еще заметнее отличается от обычной: кипит при 104°C, замерзает при 4...9°C, имеет плотность 1,33 г/см^3.

Сверхтяжелую воду применяют в термоядерных реакциях. Она удобнее дейтериевой, так как чувствительнее в определении.

Перечень изотопов водорода не кончается тритием. Искусственно получены и более тяжелые изотопы ^4H и ^5H, тоже радиоактивные.

Таким образом, возможно существование молекул воды, в которых содержатся любые из пяти водородных изотопов в любом сочетании.

Этим не исчерпывается сложность изотопного состава воды. Существуют также изотопы кислорода. В периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева значится всем известный кислород ^{16}O. Существуют еще два природных изотопа кислорода – ^{17}O и ^{18}O. В природных водах в среднем на каждые 10 тысяч атомов изотопа ^{16}O приходится 4 атома изотопа ^{17}O и 20 атомов изотопа ^{18}O.

По физическим свойствам тяжелокислородная вода меньше отличается от обычной, чем тяжеловодородная. Получают ее в основном перегонкой природной воды и используют как источник препаратов с меченым кислородом.

Помимо природных, существуют и шесть искусственно созданных изотопов кислорода. Как и искусственные изотопы водорода, они недолговечны и радиоактивны. Из них: ^{13}O, ^{14}O и ^{15}O – легкие, ^{19}O и ^{20}O – тяжелые, а сверхтяжелый изотоп – ^{24}O получен в 1970 году.

Существование пяти водородных и девяти кислородных изотопов говорит о том, что изотопных разновидностей воды может быть 135.

Наиболее распространены в природе 9 устойчивых разновидностей воды:

$^1H_2{}^{16}O$	$^1HD_2{}^{16}O$	$^1D_2{}^{16}O$
$^1H_2{}^{17}O$	$^1HD_2{}^{17}O$	$^1D_2{}^{17}O$
$^1H_2{}^{18}O$	$^1HD_2{}^{18}O$	$^1D_2{}^{18}O$

Основную массу природной воды – свыше 99% – составляет протиевая вода – $^1H_2{}^{16}O$. Тяжелокислородных вод намного меньше: $^1H_2{}^{18}O$ – десятые доли процента.

$^1H_2{}^{17}O$ – сотые доли от общего количества природных вод. Только миллионные доли процента составляет тяжелая вода D_2O, зато в форме ^1HDO тяжелой воды в природных водах содержится уже заметное количество.

Еще реже, чем D_2O, встречаются и девять радиоактивных естественных видов воды, содержащих тритий:

$T_2{}^{16}O$	$^1HT^{16}O$	$DT^{16}O$
$T_2{}^{17}O$	$^1HT^{17}O$	$DT^{17}O$
$T_2{}^{18}O$	$^1HT^{18}O$	$DT^{18}O$

Со всей научной строгостью классической водой следует считать протиевую воду $^1H_2{}^{16}O$ в чистом виде, то есть без малейших примесей остальных 134 изотопных разновидностей. И хотя содержание протиевой воды в природе значительно превосходит содержание всех остальных вместе взятых видов, чистой $^1H_2{}^{16}O$ в естественных условиях не существует. Во всем мире такую воду можно отыскать лишь в немногих специальных лабораториях. Ее получают очень сложным путем и хранят с величайшими предосторожностями. Для получения чистой $^1H_2{}^{16}O$ ведут очень тонкую, многостадийную очистку природных вод или синтезируют воду из исходных элементов $^1H_2$ и ^{16}O, которые предварительно тщательно очищают от изотопных примесей. Такую воду применяют в экспериментах и процессах, требующих исключительной чистоты химических реактивов.

Формально протиевую воду можно было бы назвать легкой водой, но чистая $^1H_2{}^{16}O$ – редкость. Поэтому рабочим эталоном легкой воды считают смесь разновидностей воды состава $^1H_2{}^{16}O$, $^1H_2{}^{17}O$ и $^1H_2{}^{18}O$, взятых в том же соотношении, в котором присутствуют в воздухе соответствующие изотопы кислорода. Получается, что, широко оперируя понятием «легкая вода», мы не можем представить ее однородной формулой.

Термин «тяжелая вода» на практике также не имеет эквивалента. Вода, отвечающая формуле $D_2{}^{18}O$, которую как раз и следовало бы считать тяжелой настоящей водой, фактически заменяется смесью разновидностей воды с постоянной водородной частью (здесь это дейтерий) и с содержанием изотопов кислорода в соответствии с изотопным составом воздуха.

Вот какое непростое это «простейшее соединение» – вода. В дальнейшем, говоря о воде и называя ее общепринятую формулу H_2O, будем иметь в виду, что состав воды, даже полностью освобожденной от минеральных и органических примесей, сложен и многообразен.

Строение молекул воды и их ассоциаты

«Мир чарующий и фантастический», – такими словами лауреат Нобелевской премии Альберт Сент-Дьердьи характеризует ощущения исследователя, изучающего структуру воды. Результаты тем сильнее впечатляют, что очень уж обычен сам объект изучения.

Итак, молекула воды ($^1H_2{}^{16}O$) состоит из двух атомов водорода (^1H) и одного атома кислорода (^{16}O). Оказывается, что едва ли не все многообразие свойств воды и необычность их проявления определяется, в конечном счете, физической природой этих атомов, способом их объединения в молекулу и группировкой образовавшихся молекул.

В отдельно рассматриваемой молекуле воды атомы водорода и кислорода, точнее их ядра, расположены так, что образуют равнобедренный треугольник. В вершине его – сравнительно крупное кислородное ядро, в углах, прилегающих к основанию, – по одному ядру водорода. Модель молекулы воды, предложенная Нильсом Бором, показана на рис. 1.5.

В соответствии с электронным строением атомов водорода и кислорода молекула воды располагает пятью электронными парами. Они образуют электронное облако. Облако неоднородно – в нем можно различить отдельные сгущения и разрежения. У кислородного ядра создается избыток электронной плотности. Внутренняя электронная пара кислорода равномерно обрамляет ядро: схематически она представлена окружностью с центром – ядром O^{2-} (рис. 1.5а). Четыре внешних электрона группируются в две электронные пары, тяготеющие к ядру, но частично не скомпенсированные. Схематически суммарные электронные орбитали этих пар показаны в виде эллипсов, вытянутых от общего центра – ядра O^{2-}. Каждый из оставшихся

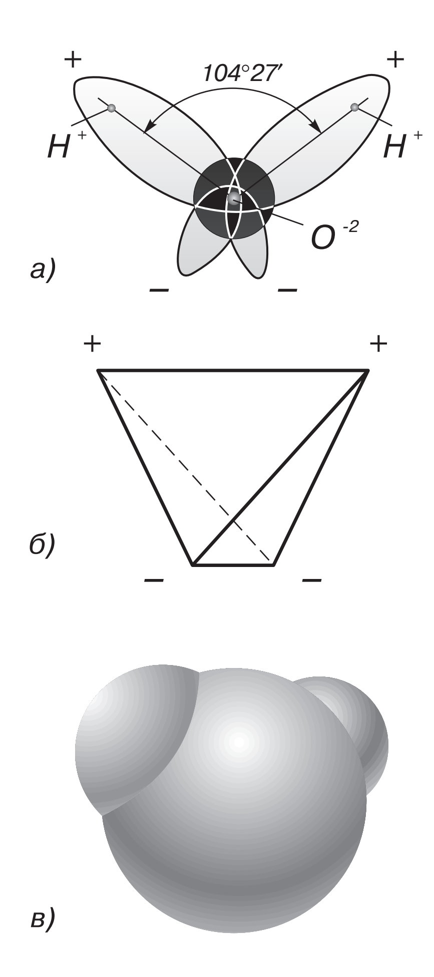


Рис. 1.5. ***Строение молекулы воды***

а – угол между связями О-Н;
б – расположение полюсов заряда;
в – внешний вид электронного облака молекулы воды.

двух электронов кислорода образует пару с одним электроном водорода. Эти пары также тяготеют к кислородному ядру. Поэтому водородные ядра – протоны – оказываются несколько оголенными, и здесь наблюдается недостаток электронной плотности.

Таким образом, в молекуле воды различают четыре полюса зарядов: два отрицательных (избыток электронной плотности в области кислородного ядра) и два положительных (недостаток электронной плотности у двух водородных ядер). Для большей наглядности можно представить, что полюса занимают вершины деформированного тетраэдра, в центре которого находится ядро кислорода (рис. 1.5б).

Общий вид электронного облака молекулы воды показан на рис. 1.5в.

Почти шарообразная молекула воды имеет заметно выраженную полярность, так как электрические заряды в ней расположены асимметрично. Каждая молекула воды является миниатюрным диполем с высоким дипольным моментом – 1,87 дебая[1]. Под воздействием диполей воды в 80 раз ослабевают межатомные или межмолекулярные силы на поверхности погруженного в нее вещества. Иначе говоря, вода имеет высокую диэлектрическую проницаемость, самую высокую из всех известных нам соединений.

Во многом благодаря этому, вода проявляет себя как универсальный растворитель. Ее растворяющему действию в той или иной мере подвластны и твердые тела, и жидкости, и газы.

Постоянно соприкасаясь со всевозможными веществами, вода фактически всегда представляет собой раствор различного, зачастую очень сложного состава.

Даже из свежевыпавшей дождевой воды можно выделить различные минеральные и органические вещества, растворенные в ней (до нескольких десятков миллиграммов на литр).

В пресных природных водах – речных, озерных – содержание растворенных веществ обычно не превышает 1 г/л. От нескольких единиц до десятков граммов на литр колеблется содержание солей в морской воде: например, в Балтийском море их не более 5 г/л, в Черном – 18, а в Красном море – около 40 г/л. В среднем в 1 л океанской воды растворено 34...35 г солей. Общее количество их настолько велико, что, выделенные из воды, они покрыли бы поверхность земного шара слоем стометровой толщины.

Солевой состав речных и морских вод различен не только количественно, но и качественно. На 89% морские соли состоят из хлоридов (преимущественно – натрия и кальция), на 10% – из сульфатов (натрия, калия и магния), на 1% – из карбонатов (натрия и кальция), а также незначительных количеств других солей. В пресных водах набор минеральных примесей выглядит иначе. Больше всего здесь карбонатов (натрия и кальция) – до 80%. Сульфатов (натрия, кальция и магния) – около 13%. Остальные 7% приходятся на хлориды (натрия и кальция) и другие соли.

Из газов в пресных и морских водах наиболее широко представлены кислород, азот, углекислый газ, сероводород. В чистых холодных истоках горных рек содержание кислорода может достигать 6 мг/л. В глубинных слоях Черного моря высока концентрация сероводорода – до 100 мг/л. Этот ядовитый газ присутствует и в нижних слоях некоторых озер.

В пресных и морских водах в небольших количествах имеются и разнообразные органические компоненты – растворимые соединения типа белков, сахаров, спиртов, углеводородов и т.п. Это продукты жизнедеятельности и распада животных и растительных организмов, населяющих водоемы и их берега, а также отходы промышленности и сельского хозяйства.

Полярность молекул воды, наличие в них частично нескомпенсированных электрических зарядов порождает склонность к группировке молекул в укрупненные «сообщества»

[1] Дебай – внесистемная единица электрического дипольного момента молекул, обозначается Д. 1Д = $1 \cdot 10^{18}$ ед. СГСЭ = $3{,}33564 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.

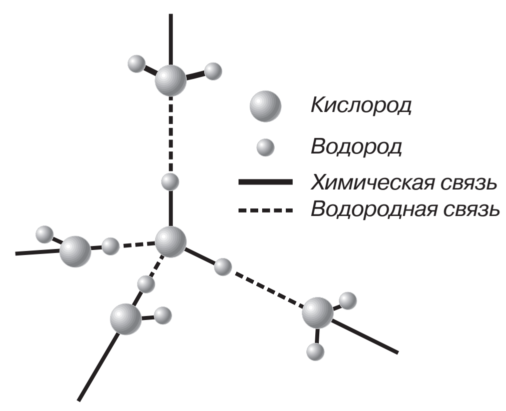


Рис. 1.6. ***Схема объединения молекул воды***

– ассоциаты. Оказывается, полностью соответствует формуле H_2O лишь вода, находящаяся в парообразном состоянии. Это показали результаты определения молекулярной массы водяного пара. В температурном интервале от 0 до 100°С концентрация отдельных (мономерных молекул) жидкой воды не превышает 1%. Все остальные молекулы воды объединены в ассоциаты различной степени сложности, и их состав описывается общей формулой $(H_2O)_x$.

Непосредственной причиной образования ассоциатов являются водородные связи. Они возникают между ядрами водорода одних молекул и электронными «сгущениями» у ядер кислорода других молекул воды. Правда, эти связи в десятки раз слабее, чем «стандартные» внутримолекулярные химические связи, и достаточно обычных движений молекул, чтобы разрушить их. Но под влиянием тепловых колебаний так же легко возникают и новые связи этого типа. Возникновение и распад ассоциатов можно выразить схемой:

$$x \cdot H_2O \leftrightarrow (H_2O)_x$$

Поскольку электронные орбитали в каждой молекуле воды образуют тетраэдрическую структуру, водородные связи могут упорядочить расположение молекул воды в виде тетраэдрических координированных ассоциатов (рис. 1.6).

Возможны и другие модели водной структуры. Тетраэдрически связанные молекулы воды образуют своеобразные рои довольно стабильного состава. Пространства между роями заполняют мономерные молекулы воды.

Исследователи раскрывают все более тонкие и сложные механизмы «внутренней организации» водной массы. Кроме льдоподобной структуры, жидкой воды и мономерных молекул, описан и третий элемент структуры – нететраэдрической.

Определенная часть молекул воды ассоциирована не в трехмерные каркасы, а в линейные кольцевые объединения. Кольца, группируясь, образуют еще более сложные комплексы ассоциатов.

Изучение структуры жидкой воды еще не закончено; оно дает все новые факты, углубляя и усложняя наши представления об окружающем мире. Развитие этих представлений помогает нам понять многие аномальные свойства воды и особенности взаимодействия ее, как растворителя, с другими веществами.

Аномалии физических и химических свойств воды

В периодической системе элементов Д.И. Менделеева кислород образует отдельную подгруппу. Она так и называется: подгруппа кислорода.

Входящие в нее кислород, сера, селен и теллур имеют много общего в физических и химических свойствах. Общность свойств прослеживается, как правило, и для однотипных соединений, образованных членами подгруппы. Однако для воды характерно отклонение от правил.

Из самых легких соединений подгруппы кислорода (а ими являются гидриды) вода – легчайшее. Физические характеристики гидридов, как и других типов химических соединений, определяются положением в таблице элементов соответствующей подгруппы. Так, чем легче элемент подгруппы, тем выше летучесть его гидрида. Поэтому в подгруппе кислорода самой высокой должна быть летучесть воды – гидрида кислорода.

Это же свойство очень явственно проявляется и в способности воды «прилипать» ко многим предметам, то есть смачивать их. При изучении этого явления установили, что все вещества, которые легко смачиваются водой (глина, песок, стекло, бумага и др.), не-

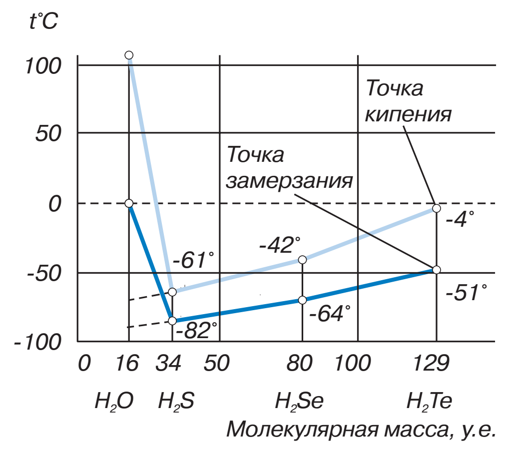


Рис. 1.7. **Температуры кипения и замерзания соединений водорода**

пременно имеют в своем составе атомы кислорода. Для объяснения природы смачивания этот факт оказался ключевым: энергетически неуравновешенные молекулы поверхностного слоя воды получают возможность образовывать дополнительные водородные связи с «посторонними» атомами кислорода.

Благодаря поверхностному натяжению и способности к смачиванию, вода может подниматься в узких вертикальных каналах на высоту большую чем та, которая допускается силой тяжести, то есть вода обладает свойством капиллярности.

Капиллярность играет важную роль во многих природных процессах, происходящих на Земле. Благодаря этому вода смачивает толщу почвы, лежащую значительно выше зеркала грунтовых вод и доставляет корням растений растворы питательных веществ. Капиллярностью обусловлено движение крови и тканевых жидкостей в живых организмах.

Самыми высокими оказываются у воды как раз те характеристики, которые должны были бы быть самыми низкими: температуры кипения и замерзания, теплоты парообразования и плавления.

Температуры кипения и замерзания гидридов элементов кислородной подгруппы графически представлены на рис. 1.7. У самого тяжелого из гидридов H_2Te они отрицательны: выше 0°С это соединение газообразно. По мере перехода к гидридам более легким (H_2Se, H_2S) температуры кипения и замерзания все более снижаются. Сохранись и далее эта закономерность, можно было бы ожидать, что вода должна кипеть при -70°С и замерзать при -90°С. В таком случае в земных условиях она никогда не могла бы существовать ни в твердом, ни в жидком состояниях. Единственно возможным было бы газообразное (парообразное) состояние. Но на графике зависимости температуры неожиданно резкий подъем – температура кипения воды +100°С, замерзания – 0°С. Это наглядное преимущество ассоциативности – широкий температурный интервал существования, возможность осуществить все фазовые состояния в условиях нашей планеты. Ассоциативность воды сказывается и на очень высокой удельной теплоте ее парообразования. Чтобы испарить воду, уже нагретую до 100°С, требуется вшестеро больше количества теплоты, чем для нагрева этой же массы воды на 80°С (от 20 до 100°С).

Каждую минуту миллион тонн воды гидросферы испаряется от солнечного нагрева. В результате в атмосферу постоянно поступает колоссальное количество теплоты, эквивалентное тому, которое бы вырабатывали 40 тысяч электростанций мощностью 1 млрд. киловатт каждая.

При плавлении льда немало энергии уходит на преодоление ассоциативных связей ледяных кристаллов, хотя и вшестеро меньше, чем при испарении воды. Молекулы H_2O фактически остаются в той же среде, меняется лишь фазовое состояние воды.

Удельная теплота плавления льда более высокая, чем у многих веществ, она эквивалентна расходу количества теплоты при нагреве 1 г воды на 80°С (от 20 до 100°С).

При замерзании воды соответствующее количество теплоты поступает в окружающую среду, при таянии льда – поглощается. Поэтому ледяные массы, в отличие от масс парообразной воды, являются своего рода поглотителями тепла в среде с плюсовой температурой.

Аномально высокие значения удельной теплоты парообразования воды и удельной теплоты плавления льда используются человеком в производственной деятельности. Знание природных особенностей этих физических характеристик иногда подсказывает сме-

лые и эффективные технические решения. Так, воду широко применяют в производстве как удобный и доступный охладитель в самых разнообразных технологических процессах. После использования воду можно возвратить в природный водоем и заменить свежей порцией, а можно снова направить на производство, предварительно охладив в специальных устройствах – градирнях.

На многих металлургических производствах Донбасса в качестве охладителя используют не холодную воду, а кипяток. Охлаждение идет за счет использования теплоты парообразования – эффективность процесса повышается в несколько раз, к тому же отпадает надобность в сооружении громоздких градирен. Конечно, кипяток-охладитель используют там, где нужно охладить объекты, нагретые выше 100°С. А вот пример совсем из другой области человеческой деятельности – сельского хозяйства, садоводства. Когда поздней весной внезапные ночные заморозки угрожают цветущим плодовым деревьям, опытные садоводы находят выход, кажущийся совершенно неожиданным: они проводят дождевание сада. Пелена мельчайших водных брызг окутывает замерзающие деревья. Капельки воды покрывают лепестки цветов. Превращаясь в лед, вода надевает на цветы ледяную шубу, отдавая при этом им свое тепло (335 Дж от 1 г замерзающей воды).

Широкое применение воды в качестве охладителя объясняется не только и не столько ее доступностью и дешевизной. Настоящую причину нужно тоже искать в ее физических особенностях. Оказывается, вода обладает еще одной замечательной способностью – высокой теплоемкостью. Поглощая огромное количество теплоты, сама вода существенно не нагревается. Удельная теплоемкость воды в пять раз выше, чем у песка, и почти в десять раз выше, чем у железа.

Способность воды накапливать большие запасы тепловой энергии позволяет сглаживать резкие температурные колебания на земной поверхности в различные времена года и в разное время суток. Благодаря этому вода является основным регулятором теплового режима нашей планеты.

Интересно, что теплоемкость воды аномальна не только по своему значению. Удельная теплоемкость разная при различных температурах, причем характер температурного изменения удельной теплоемкости своеобразен: она снижается по мере увеличения температуры в интервале от 0 до 37°С, а при дальнейшем увеличении температуры – возрастает. Минимальное значение удельной теплоемкости воды обнаружено при температуре 36,79°С, а ведь это нормальная температура человеческого тела! Нормальная температура почти всех теплокровных живых организмов также находится вблизи этой точки.

Оказалось, что при этой температуре осуществляются и микрофазовые превращения в системе «жидкость – кристалл», то есть «вода – лед». Установлено, что при изменении температуры от 0 до 100°С вода последовательно проходит пять таких превращений. Назвали их микрофазовыми, так как протяженность кристаллов микроскопична, не более 0,2...0,3 нм. Температурные границы переходов – 0, 15, 30, 45, 60 и 100°С.

Температурная область жизни теплокровных животных находится в границах третьей фазы (30...45°С). Другие виды организмов приспособились к иным температурным интервалам. Например, рыбы, насекомые, почвенные бактерии размножаются при температурах, близких к середине второй фазы (23...25°С), эффективная температура весеннего пробуждения семян приходится на середину первой фазы (5...10°С).

Характерно, что явление прохождения удельной теплоемкости воды через минимум при температурном изменении обладает своеобразной симметрией: при отрицательных температурах также обнаружен минимум этой характеристики. Он приходится на – 20°С.

Если вода ниже 0°С сохраняет не замерзшее состояние, например, будучи мелкодисперсной, то около -20°С резко увеличивается ее теплоемкость. Это установили американские ученые, исследуя свойство водных эмульсий, образованных капельками воды диаметром около 5 микрон.

Углубленное изучение физического смысла и направлений практического применения данного явления еще ждут своих исследователей. Но уже и теперь ясно, что эти открытия представляют очень интересный и ценный познавательный материал.

Прочнее стали

Среди необычных свойств воды трудно обойти вниманием еще одно – ее исключительно высокое поверхностное натяжение 0,073 Н/м (при 20°С). Из всех жидкостей более высокое поверхностное натяжение имеет только ртуть. Оно проявляется в том, что вода постоянно стремится стянуть, сократить свою поверхность, хотя она всегда принимает форму емкости, в которой находится в данный момент. Вода лишь кажется бесформенной, растекаясь по любой поверхности. Сила поверхностного натяжения заставляет молекулы ее наружного слоя сцепляться, создавая упругую внешнюю пленку. Свойства пленки также определяются замкнутыми и разомкнутыми водородными связями, ассоциатами различной структуры и разной степени упорядоченности. Благодаря пленке некоторые предметы, будучи тяжелее воды, не погружаются в воду (например, осторожно положенная плашмя стальная иголка). Многие насекомые (водомерки, ногохвостки и др.) не только передвигаются по поверхности воды, но взлетают с нее и садятся, как на твердую опору. Более того, живые существа приспособились использовать даже внутреннюю сторону водной поверхности. Личинки комаров повисают на ней с помощью несмачиваемых щетинок, а маленькие улитки – прудовики и катушки – ползают по ней в поисках добычи.

Высокое поверхностное натяжение позволяет воде принимать шарообразную форму при свободном падении или в состоянии невесомости: такая геометрическая форма имеет минимальную для данного объема поверхность.

Струя химически чистой воды сечением 1 $см^2$ по прочности на разрыв не уступает стали того же сечения. Водную струю как бы цементирует сила поверхностного натяжения. Поведение воды в капиллярах подчиняется и более сложным физическим закономерностям. Сент-Дьердьи отмечал, что в узких капиллярах возникают структурно упорядоченные слои воды вблизи твердой поверхности. Структурирование распространяется в глубь жидкой фазы на толщину слоя порядка десятков и сотен молекул (ранее предполагали, что упорядоченность ограничивается лишь мономолекулярным слоем воды, примыкающим к поверхности). Особенности структурирования воды в капиллярных системах позволяют с определенным основанием говорить о капиллярном состоянии воды. В природных условиях это состояние можно наблюдать у так называемой поровой воды. В виде тончайшей пленки она устилает поверхность полостей, пор, трещин пород и минералов земной коры. Развитые межмолекулярные контакты с поверхностью твердых тел, особенности структурной упорядоченности, вероятно, и являются причиной того, что поровая вода замерзает при более низкой температуре, чем обычная – свободная – вода. Исследования показали, что при замерзании связанной воды проявляются не только изменения ее свойств, – иными становятся и свойства тех горных пород, с которыми она непосредственно соприкасается.

Детальное изучение поровой воды поможет ответить на многие вопросы, имеющие важное практическое значение, позволит уточнить условия и закономерности формирования подземных вод в толще кристаллических массивов, прогнозировать набухание грунтов на дорожных магистралях, в шахтах, на мелиоративных объектах и т.д. Полученные в лабораториях результаты исследования поровой воды могут быть полезными и при постижении тайн атмосферы. Высоко над землей мельчайшие капельки воды способны, подобно тонким слоям капиллярных вод, переохлаждаться на десятки градусов, оставаясь в жидком состоянии.

Странности простого льда

Казалось бы, что может быть обычнее льда? В средней полосе Евразии, где зима длится несколько месяцев, на севере, где зима продолжается большую часть года, да и в южных горных районах снег и лед – привычные компоненты ландшафта.

Между тем необычен сам процесс образования льда. Посмотрим, например, как изменяется объем воды при переходе из жидкого состояния в твердое, то есть при замерзании. Это изменение происходит совсем не так, как у других известных нам веществ. Все они, кроме висмута и галлия, сжимаются, сокращают объем по мере охлаждения. При затвердевании их объем значительно уменьшается по сравнению с такой же массой расплава.

Их плотность в твердом состоянии соответственно становится выше, чем в жидком.

При замерзании воды все происходит наоборот – плотность льда уменьшается, а объем увеличивается на 10% по сравнению с объемом, занимаемым той же массой воды.

Издавна люди знали это свойство льда. Не умея его объяснить, они, тем не менее, успешно им пользовались. Могучие постройки на севере Европы возводились из каменных монолитов, весящих сотни килограммов. Чтобы изготовить такие блоки, в скалах пробивали сравнительно неглубокие пазы или выбирали подходящие трещины. Перед наступлением зимних холодов их заливали водой, и образовавшийся лед выполнял роль взрывчатки. Так терпеливо, год за годом, люди дробили крепчайшие скалы, получали строительный материал, используя расширение воды при замерзании. Теперь наука может объяснить причину этого явления. Как видно из рис. 1.8, изменение объема воды с понижением температуры идет своеобразно. Сначала вода ведет себя, как и многие другие жидкости: понемногу уплотняясь, уменьшает свой объем. Это наблюдается вплоть до 4°С (точнее – до 3,98°С). При этой температуре как будто бы наступает кризис. Дальнейшее охлаждение уже не уменьшает, а постепенно увеличивает объем. Плавность резко прерывается при 0°С, кривая переходит в отвесную прямую, объем скачком возрастает почти на 10%. Вода превращается в лед.

Очевидно, при 3,98°С тепловые помехи в образовании ассоциатов начинают ослабевать настолько, что появляется возможность некоторой структурной перестройки воды в льдоподобные каркасы. Молекулы взаимно упорядочиваются, местами складывается характерная для льда гексагональная структура[1].

Эти процессы в жидкой воде как бы подготавливают полную структурную перестройку, и при 0°С она наступает: струящаяся вода становится льдом – кристаллическим твердым телом. Каждая молекула получает возможность соединиться водородными связями с четырьмя соседними. Поэтому в фазе льда вода образует ажурную конструкцию с «каналами» между фиксированными группами молекул воды.

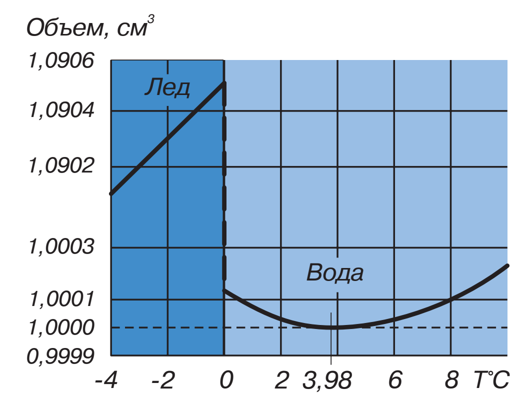


Рис. 1.8. ***Зависимость относительного объема воды от температуры***

Вероятно, со структурной перестройкой связано и еще одно своеобразное свойство воды – резкий скачок теплоемкости при фазовом переходе «вода – лед». Вода при 0°С имеет удельную теплоемкость 1,009. Удельная теплоемкость превратившейся в лед воды при этой же температуре вдвое ниже.

Благодаря особенности структурного перехода «вода – лед», в интервале 3,98...0°С природные водоемы достаточной глубины обычно не промерзают до дна. С наступлением зимних холодов верхние слои воды, охладившись примерно до +4°С и достигнув максимальной плотности, опускаются на дно водоема. Эти слои несут в глубины кислород и помогают равномерному распределению питательных примесей. На их место к поверхности поднимаются более теплые массы воды, уплотняются, остывая при контакте с приповерхностным воздухом, и, охладившись до +4°С, в свою очередь опускаются вглубь. Перемешивание идет до тех пор, пока циркуляция не исчерпается и водоем не покроется плавающим слоем льда. Лед надежно предохраняет глубины от сплошного промерзания – ведь его теплопроводность намного меньше, чем воды.

---

[1] Гексагональная структура кристалла – строгая периодичность пространственного повторения структуры шестигранника, в узловых точках которого располагаются атомы, ионы или молекулы.

ГИГАНТЫ И КАРЛИКИ

Разновидности льда

В природе существует множество разновидностей и форм льда – морского и пресноводного, атмосферного и почвенного; от колоссальных плавучих гор-айсбергов до мельчайшей пыли, висящей в морозном воздухе.

Морской лед образуется преимущественно в высоких широтах при замерзании верхних слоев воды. В Антарктиде преобладают однолетние льды, покрытые слоем снега. Арктические льды в основном многолетние, толщина их достигает нескольких метров. Образование и существование морского льда влияют на окружающую морскую среду. При замерзании морской воды происходит как бы ее естественное опреснение вследствие различных температур замерзания воды и солевого раствора, каким является морская вода. Поэтому морской лед содержит меньше солей, чем вода, из которой он образуется.

Значительное количество запасов пресных вод находится в кристаллическом состоянии в виде материковых льдов Арктики, Антарктики и ледников высокогорных районов. Ледники являются ценными запасами пресных вод, и сейчас изучается возможность их рационального использования. В Финляндии в песчаном холме на глубине 30 м находится уникальный подземный ледник. Финские ученые полагают, что это реликтовое образование ледникового периода.

В высоких широтах Земли снег не тает полностью даже летом. Из года в год нарастают слои снежного покрова. Образовавшиеся в теплую погоду талые воды впитываются в снег, а при замерзании сырой снежной массы образуются фирновые зерна – снег становится похожим на светлые икринки. Фирн – своеобразная промежуточная форма между снегом и льдом. Тяжесть новых слоев спрессовывает фирн в монолитную ледяную массу. Кое-где остаются мелкие пустоты, заполненные пузырьками воздуха. Он с легким треском освобождается при таянии льда.

Так в течение тысячелетий накапливается ледяной покров Гренландии – родины айсбергов. Под собственным весом белый гигантский щит постепенно обретает пластичность и начинает медленно сползать в океан. Ежегодно на побережье этого крупнейшего в мире острова, откалываясь от оконечностей ледников, рождаются 10...15 тысяч айсбергов. Примечателен береговой ледник Ринг, разламывающийся через каждые две недели. В течение нескольких минут от отвесных склонов этого ледника отделяются и с шумом погружаются в океан громадины весом в сотни тысяч тонн. В одиночку и группами отправляются они в далекое плавание по океану, постепенно достигая южных побережий, вплоть до Азорских островов и Флориды.

Многие айсберги оседают на мелях и постепенно тают, однако в периоды солнечной активности Северная Атлантика буквально заполняется этими ледяными плавучими горами, нередко окутанными плотным туманом. Чтобы предотвратить столкновение кораблей с айсбергами, в Атлантике с 1914 года действует специальная служба – Международный ледовый патруль. Он вооружен эхолотами и гидролокаторами, способными выявлять подводные очертания айсбергов. Специальные анализаторы, сигнализирующие о внезапном падении солености и температуры воды, предупреждают о приближении ледяных гигантов. Чтобы сделать айсберги более заметными издали, их обстреливают снарядами, начиненными яркими светящимися красками. Любой корабль, находящийся в опасной акватории, может получить необходимую информацию и снимки ледяного покрова океана с помощью спутников.

Еще более мощный поставщик айсбергов – Антарктида, необозримый ледовый континент. Антарктические айсберги плавают по

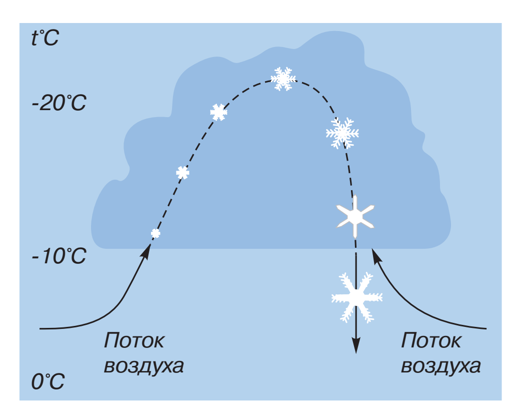


Рис. 1.9. ***Схема возникновения снежинки внутри облака***

огромной территории холодных южных морей, не стесненных материковыми границами, иногда поднимаются до южных побережий Африки и Австралии.

Форма этих айсбергов имеет свои особенности: зачастую это так называемые столовые айсберги – плоские ледовые поля, мало возвышающиеся над водой. Будучи обломками шельфового льда, они имеют солоноватые нижние слои, но основная их масса – пресный чистейший лед.

Самым крупным из антарктических считают айсберг, обнаруженный исследователями в 1964 году. Образовавшийся после разлома шельфовых ледников Эмери и Западного, этот гигант достигал 175 км в длину и 75 км в ширину, а его площадь составляла 12 тыс. кв. км.

Айсберги, подобные этому, поднимаются над водой на сотни метров. А поскольку примерно 6/7 их высоты скрыто под водой, то их несет подповерхностное течение, направление которого не всегда совпадает с поверхностным. Поэтому айсберги часто меняют курс, что увеличивает опасность столкновения с ними.

При длительном дрейфе в айсбергах зачастую образуются целые системы сквозных промоин. Такие айсберги называют поющими: в ветренную погоду они неожиданно издают фантастические звуки.

Способность генерировать звуки обнаружена и у льдов, не имеющих заметных полостей. Полярные льды в напряженном состоянии многоголосо звучат, подобно огромному органу. Характер звучания льда зависит от температуры окружающего воздуха, но природа этого явления пока остается загадкой.

Еще в начале нашего века в айсбергах видели лишь угрозу, теперь люди начинают активно использовать их для различных целей. Основная задача – использовать эти гигантские ледяные «консервы» как источники водоснабжения. Особенно важно это для безводных побережий Австралийского и Южноамериканского континентов, сравнительно близких к Антарктическому бассейну. Конечно, дальняя транспортировка айсбергов – дело сложное и непривычное. Немало трудностей связано и с тем, чтобы заставить айсберги таять в нужном режиме. Однако по предварительным расчетам стоимость талой воды из прибуксированных айсбергов все равно оказывается намного ниже опресненной морской. Кроме того, эта вода сразу пригодна для питья.

И еще одно, несколько неожиданное свойство айсбергов и многолетних толщ материковых льдов обнаружили ученые. Оказалось, что это идеальные «кладовые памяти» нашей планеты. Вследствие циркуляции воздушных масс мельчайшие частицы взвешенных в воздухе примесей отлагаются повсеместно на земной поверхности, но практически нигде, кроме ледяных массивов, они недоступны последующему наблюдению. В Антарктиде лед наращивался многие тысячелетия и теперь толщина его достигает примерно четырех с половиной километров. Здесь надежно законсервированы земная и космическая пыль, вулканический пепел, микроорганизмы и даже воздух давно минувших времен. Все это позволяет понять ход природных процессов, познать далекое прошлое нашей планеты.

Ученые все глубже изучают «память» ледяных покровов Земли, постигают значение ее для познания общепланетарных явлений стабильности климата, процессов перераспределения энергии на Земле и т.д. Хотя ледяные монолиты не образуют непрерывного слоя, их начинают выделять в отдельную сферу – гляциосферу, наравне с атмосферой, гидросферой и литосферой. Льды планеты, составляющие десятую часть ее поверхности, –

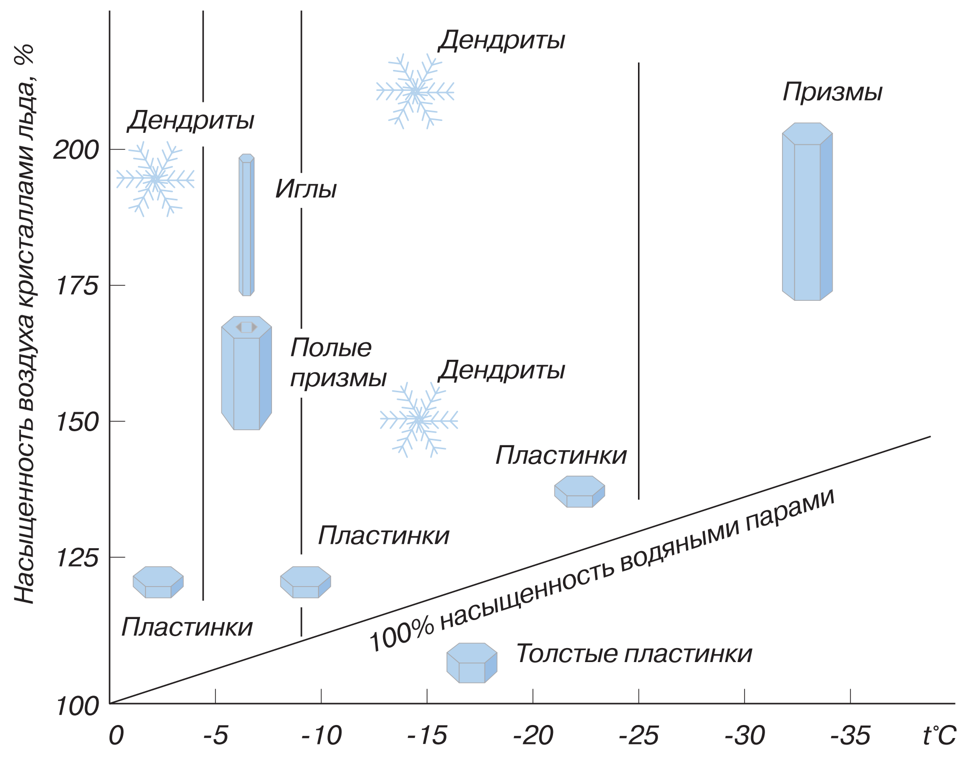


Рис. 1.10. ***Зависимость формы кристалла льда от атмосферных условий***

один из важнейших компонентов окружающего мира.

По сравнению с ледяными гигантами особенно ощутима миниатюрность почвенного игольчатого льда – еще одной разновидности льда, встречающейся на нашей планете. Такой лед можно наблюдать при медленном охлаждении песчаных и гумусовых почв, когда температура окружающей среды постепенно переходит через нулевую отметку.

Изысканным геометрическим совершенством отличаются многие формы атмосферного льда – снег, иней, ледяная пыль, крупа, град.

Снег образуется в облаках при определенных температурных условиях: капельки переохлажденной воды намерзают на ледяные мельчайшие кристаллики, содержащиеся в облаках. Особенно интенсивно они растут там, где в слое облака преобладают переохлажденные капли (рис. 1.9). В тропосфере основная масса облаков пребывает при температуре ниже 0°C, но попадающие туда при испарении с поверхности планеты водяные пары не сразу превращаются в лед. В заметных количествах кристаллики льда появляются там лишь в температурном интервале от -12 до -16°C, интенсивное кристаллообразование идет при -22°C, однако еще и при -41°C в облаках обнаруживают отдельные капли переохлажденной воды.

Облака получают влагу от восходящих воздушных потоков и циркулирующих в атмосфере воздушных масс. В этих массах содержится основное количество (90%) атмосферной влаги. Сложный режим восходящих потоков воздуха, питающих облака влагой, вносит разнообразие в образование и рост ледяных кристалликов в облаке. Постепенно они приобретают такие размеры и вес, что преодо-

левают подъемную силу восходящих потоков воздуха, и выпадают на землю в виде снега.

Надо льдом давление насыщенного пара всегда меньше, чем над переохлажденной водой при этой же температуре. Когда капля воды в процессе образования снежинки сближается с кристалликом льда, из окружающей ее оболочки насыщенного водяного пара к ледяной поверхности, от большего давления к меньшему, устремляются молекулы воды. Оседая на кристаллике, они увеличивают его размеры. А капли постепенно испаряются: за счет слагающих их молекул воды они создают все новые паровые оболочки и тут же их теряют.

Структура снежного кристалла зависит от температуры, количества водяных паров, за счет которых он растет, и интенсивности их поступления. Все это создает удивительное разнообразие его форм. Специалисты, изучающие формы снежинок для определения их связи с ходом атмосферных процессов, насчитывают тысячи их разновидностей (рис. 1.10).

Но при всем многообразии снежинки преимущественно имеют вид шести- и двенадцатилучевых звездочек – дендритов, а также шестиугольных пластинок и шестигранных призм (рис. 1.11). В температурном промежутке от -8 до -12°С в облаке идет образование главным образом дендритов. В этих условиях отмечается наибольший перепад между давлением насыщенного пара над водой и над ледяной поверхностью.

При -15°С появляются интересные смежные формы – «запонки». Это кристаллические иголочки льда, с обеих сторон заканчивающиеся наросшими в виде основания ледяными звездочками или пластинками. Фигурку, у которой оба основания составляют пластинки, называют цузуми за сходство с традиционным японским барабаном. Есть предположение, что почти все плоские смежные кристаллы – это цузуми с предельно укороченным столбиком. Лишь при сравнительно слабых морозах с неба летят снежинки-звездочки.

В высоких широтах – в Заполярье, Антарктиде – чаще всего стоят суровые холода (-30...-50°С и ниже), и на землю ложится очень «неласковый» снег: каждая снежинка – это заостренный с одного конца граненый стерженек. Такие кристаллы обычно образуются в перистых облаках на высоте 7...10 километров над поверхностью Земли, то есть почти в стратосфере.

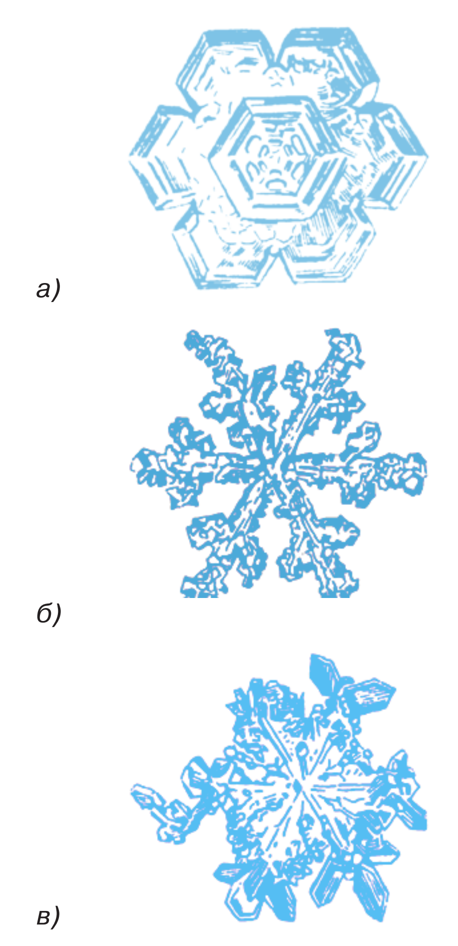


Рис. 1.11. ***Разновидности формы кристаллов льда***

а – пластинка; в – дендрит; в – комбинация пластинка и дендрит.

В слое воздуха, непосредственно примыкающем к земной поверхности, у атмосферного льда свои особенности. Тут можно наблюдать иней, красиво искрящийся зимой на ветвях деревьев, на проводах. Он представляет собой дендритные кристаллики, отлагающиеся из влажного воздуха, процесс охлаждения которого проходит через точку росы.

Очень мелкие, чрезвычайно легкие ледяные кристаллики размером около 0,1 мм, так называемая алмазная пыль, висят в воздухе, почти не оседая. Особенно эффектны и нарядны они в солнечные морозные дни. Такие кристаллики образуются в холодном влажном воздухе при температуре около -20°С. При более низких температурах иногда в воздухе наблюдаются явления типа инверсионных. Подобно тому, как на фоне голубого неба сконденсированная водяная влага сохраняет некоторое время белые узоры от пролетевшего реактивного самолета – инверсионный след, так и зимой позади идущего человека может появиться образованная ледяными кристалликами полоса протяженностью 300...400 м, остающаяся в воздухе несколько минут.

Крупа и град – часто встречающиеся виды атмосферного льда. Они образуются, подобно снегу, в относительно высоких слоях атмосферы. Белая легкая крупа, холодный предшественник зимних снегопадов, представляет собой маленькие снежные комочки с налипшими капельками переохлажденной воды. Примерно по такой же схеме образуются и зерна града – этого ледяного посланца атмосферы в летние дни. Только при градообразовании процесс намерзания на ледяные кристаллы капель воды повторяется многократно, чередуясь с намерзанием кристалликов льда.

Необычный лед

Гексагональная структура не единственно возможная для ледяных кристаллов. Например, в растворах ряда органических веществ отмечаются упорядоченные группы молекул воды вокруг молекул органических соединений. Это так называемые «айсберги», «зоны жидкого льда», имеющего кубическую структуру – более рыхлую, чем гексагональная.

Вероятно, характером структуры объясняется и возможность ее образования при положительных температурах, особенно в системах с относительно малым содержанием воды. Такими системами можно считать, например, зерна хлебных злаков или газовый конденсат, в состав которого входит вода. Зерна злаков нередко оказываются замерзшими при температуре 4,5°С.

Нетающий лед можно встретить и при более высокой температуре окружающей среды – до 20°С. Естественно, встречается он не повсеместно. Таким «теплым льдом» нередко оказываются забиты газопроводы. Эта снегоподобная масса льда состоит из своеобразных образований – газогидратов, где в ледяной единой кристаллической структуре связаны молекулы воды и гомеополярные молекулы предельных углеводородов (преимущественно метана). Присутствием органических молекул и объясняется особая тепловая стойкость такого льда.

Как выяснилось, газогидраты широко встречаются и в природе, особенно в северных газовых месторождениях. Предполагают, что немалая доля газа в подземных месторождениях хранится в твердом состоянии, в виде газогидратов, что затрудняет традиционные способы добычи и транспортировки природного газа.

Газогидраты нередко бывают причиной серьезных помех нормальной работы газовых магистралей. Однако теперь и эту форму льда люди начинают эффективно использовать. Так, принципиально новые методы добычи, хранения и транспортировки газа позволяют реализовать процессы добычи голубого топлива в твердом виде.

Другое направление использования «теплого льда» имеет прямое отношение к решению водных проблем. С помощью образования газогидратов, а затем при разделении газовой и водной фаз разработаны методы опреснения соленых вод.

Особенно эффективны эти методы там, где использовать их можно комплексно, например, при одновременном получении пресной воды и выработке из соленых вод ее ценных примесей – дейтерия, редкоземельных металлов, а также при использовании низкопотенциального тепла в кондиционерах.

При внешнем разнообразии форм льда, встречающихся в гидросфере Земли, их физические свойства одинаковы или достаточно близки. И в снеге, и в граде, и в айсберге, и в почвенном игольчатом льде легко узнаем хорошо знакомую нам замерзшую воду.

Используя возможности современной техники, в специальных условиях можно соз-

дать совершенно необычные разновидности льда. Их получают, моделируя условия, господствующие на далеких космических телах или глубоко в недрах нашей планеты, где температура и давление в сотни и тысячи раз отличаются от тех, которые существуют на земной поверхности.

В глубоком вакууме при температуре ниже -170°С водяной пар, оседая на твердом теле, образует лед, лишенный кристаллической структуры. Он аморфен и внешним видом напоминает стекло. Отдельные молекулы замерзшей воды не упорядочены, как у льда в обычных условиях. Тем не менее структура такого аморфного льда оказывается более компактной, чем льда кристаллического. Поэтому его плотность значительно выше — 2,3 г/см^3.

Не исключено, что такие или сходные формы льда могут входить в состав комет или образовываться на поверхности иных планет.

В условиях повышенного давления также существенно изменяются свойства льда. Как правило, он приобретает повышенную плотность. Различают ряд модификаций льда, полученного при высоком давлении. Так, при давлении 208 МПа лед приобретает модификацию III, отличающуюся тем, что плотность его превышает 1. Лед III тонет в воде. Еще более плотный лед образуется при давлении около 300 МПа. В соответствии с особенностями структуры его относят к модификации II. При более высоком давлении получают лед IV, который быстро преобразуется в лед V. Начиная со льда V, получаемого при давлении свыше 500 МПа, модификации представляют собой тугоплавкий лед. Лед VI уже можно назвать горячим, он плавится лишь при 80°С.

Самый плотный и тугоплавкий лед VII — последняя из известных кристаллических модификаций. Получаемый при давлении 900 МПа, он плавится при 190°С, то есть при температуре, почти вдвое превышающей температуру кипения воды в нормальных условиях. Интересно, что лед VII, при всей необычности его свойств, вовсе не научный курьез. Вполне вероятно, что он встречается в неземных условиях и в глубинных слоях земной коры, но об этом пока можно судить лишь предположительно. Однако для того, чтобы обнаружить «сверхгорячий» лед, не нужно забираться так далеко. Огромные давления, которые нужны для его образования, могут развиваться в трущихся деталях крупных механизмов, например, подшипниках мощных турбин электростанций. И если в смазке для подшипников оказываются малейшие следы воды, она превращается в лед модификации VII. Твердость его очень высока, поэтому он крайне отрицательно действует на подшипники: изъязвляет их и быстро разрушает.

Все это еще раз убедительно показывает, как много необычного таит в себе вода и как важно ее детальное и всестороннее изучение.

ОБИТАЕМЫЕ ОБЛАКА

Вода в атмосфере

Содержание воды в атмосфере сравнительно невелико – около 0,001% всей ее массы на нашей планете. Тем не менее, это совершенно незаменимое звено природного круговорота воды.

Основным источником атмосферной влаги являются поверхностные водоемы и увлажненная почва; кроме того, влага поступает в атмосферу в результате испарения воды растениями, а также дыхательных процессов живых существ.

Вода в атмосфере находится во всех трех агрегатных состояниях – газообразном (водяной пар), жидком (капли дождя) и твердом (кристаллики снега и льда). Конденсация водяных паров приводит к образованию облаков; атмосферная влага, теряемая в результате осадков, пополняется за счет поступления новых порций испарившейся воды (рис. 1.12). Полное обновление состава воды в атмосфере происходит за 9...10 дней. Таким образом, атмосферная влага является самым активным звеном круговорота воды в природе.

Основное количество водяного пара сосредоточено в нижних слоях воздушной оболочки – в тропосфере, на высоте до нескольких тысяч метров, и почти вся масса облаков находится там. В стратосфере (на высоте около 25 км над Землей) облака появляются реже. Их называют перламутровыми. Еще выше, в слоях мезопаузы, на расстоянии 50...80 км от Земли, изредка наблюдаются серебристые облака. Известно, что они состоят из кристалликов льда и возникают при снижении температуры в мезопаузе до -80°С. Их образование связывают с интересным явлением – пульсацией атмосферы под действием приливных гравитационных волн, вызываемых Луной.

При кажущейся легкости и воздушности облака содержат значительное количество воды. Водность облаков, то есть водосодержание воды в 1 м^3, колеблется от 10 до 0,1 г и менее. Поскольку объемы облаков очень велики (десятки кубических километров), то даже одно облако может содержать в виде капель или кристалликов льда сотни тонн воды. Эти гигантские водные массы непрерывно переносятся воздушными потоками над поверхностью Земли, вызывая на ней перераспределение воды и тепла. Поскольку вода обладает исключительно высокой удельной теплоемкостью, испарение ее с поверхности водоемов, из почвы, транспирация растений поглощают до 70% энергии, получаемой Землей от Солнца. Количество теплоты, затраченное на испарение (скрытая теплота парообразования), поступает вместе с водяным паром в атмосферу и выделяется там при его конденсации и формировании облаков. В результате заметно снижается температура водных поверхностей и прилегающего к ним слоя воздуха, поэтому вблизи водоемов в теплое время года намного прохладнее, чем в континентальных районах, которые получают такое же количество солнечной энергии.

Масса облаков и водяные пары, содержащиеся в атмосфере, существенно воздействуют и на радиационный режим планеты: с их помощью происходят поглощение и отражение избытка солнечной радиации, и тем самым в известной степени регулируется ее поступление на Землю. Одновременно облака экранируют встречные тепловые потоки, идущие с поверхности Земли, снижая теплопотери в межпланетное пространство. Из всего этого слагается погодообразующая функция атмосферной влаги.

Вследствие высокой «оборачиваемости» атмосферной воды годовое количество осадков для всей планеты составляет около 0,5 млн. км^3, то есть превышает содержание влаги в атмосфере в 40 раз. В среднем на поверхность Земли в течение года выпадает слой осадков толщиной 1 м, но реальные их

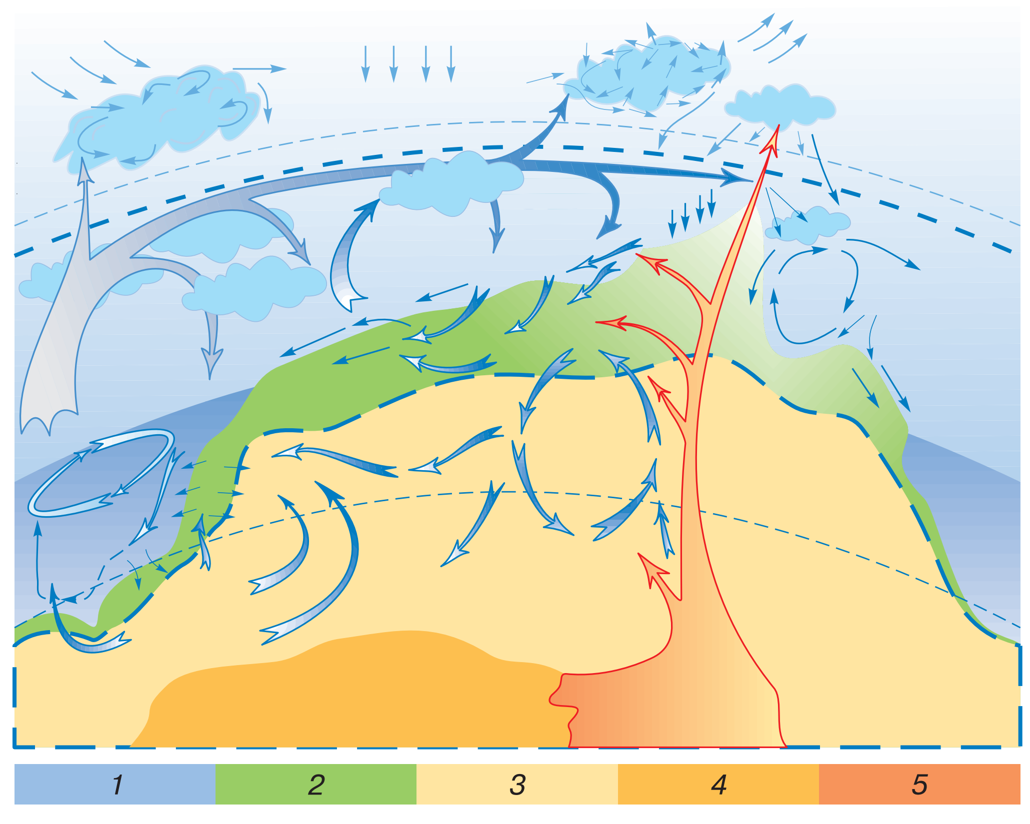


Рис. 1.12. ***Принципиальная схема единства вод Земли (по Л.С. Абрамову)***

1 – свободные воды океана; 2 – чехол осадочных пород; 3 – кристаллические породы земной коры; 4 – магматический очаг; 5 – породы мантии.

количества весьма неодинаковы для разных областей земного шара. Так, известны три зоны максимума осадков (одна в экваториальной области, две в умеренных широтах обоих полушарий) и четыре зоны минимума осадков (в двух зонах пассатных широт, а также в Арктике и Антарктике). В то время как в некоторых районах Индии или на Гавайских островах годовой уровень осадков превышает 12000 мм, в среднеазиатских пустынях или на северо-востоке Сибири он едва достигает 200 мм.

В течение года осадки выпадают крайне неравномерно. В экваториальных районах наибольшее количество их выпадает дважды в году – после осеннего и весеннего равноденствия, в тропиках и муссонных областях – летом (при почти полном бездождье зимой), в субтропиках – зимой. В умеренных континентальных зонах максимум осадков приходится на лето.

От годового количества осадков во многом зависят производственная деятельность человека в целом, состояние и состав растительности, а следовательно, характер сельского хозяйства. Поэтому так важно исследовать состояние и пути распространения атмосферной влаги, закономерности формирования облачных масс, изучение возможности воздействия на них.

Вечные труженики

Атмосферная влага, кроме переноса воды и тепла, осуществляет и другие, не менее важные функции, сущность и значение которых начали изучать совсем недавно. Оказывается, содержащаяся в атмосфере вода активно участвует и в переносе масс твердых веществ. Ветер поднимает в воздух частицы почвы, срывает пену с морских волн, уносит мельчайшие капельки соленой воды. Помимо этого, соли могут попадать в воздух и в молекулярно-дисперсном виде, благодаря так называемому физическому испарению их с поверхности океана. Поэтому океан можно считать главным поставщиком хлора, бора и иода для атмосферы, дождевых и речных вод.

Таким образом, дождевая влага, находясь в облаке, уже содержит некоторое количество солей. В ходе мощных циркуляционных процессов, осуществляющихся в облачных массах, вода и частицы солей, почвы, пыли, взаимодействуя, образуют растворы разнообразнейшего состава. По утверждению академика В.И. Вернадского, среднее солесодержание облака составляет около 34 мг/л.

В дождевых каплях находят десятки химических элементов и различные органические соединения. Покидая облако, каждая капля содержит в среднем $9{,}3 \cdot 10^{-12}$ мг солей. На пути к Земле, соприкасаясь с атмосферным воздухом, она вбирает в себя новые порции солей и пыли. Обычная дождевая капля весом 50 мг при падении с высоты 1 км «промывает» 16 л воздуха, а 1 л дождевой воды захватывает с собой примеси, содержавшиеся в 300 тыс. л воздуха. В итоге с каждым литром дождевой воды на Землю поступает до 100 мг примесей. Из общего количества растворенных веществ, уносимых реками с материков в океан, почти половина возвращается обратно с атмосферными осадками. При этом на каждый квадратный километр земной поверхности приходится до 700 кг одних лишь азотистых соединений (в пересчете на чистый азот), а это уже ощутимая подкормка для растений.

Особенно много солей содержат осадки приморских районов. Например, в Англии было зафиксировано выпадение дождя с концентрацией хлора до 200 мг/л, а в Голландии – до 300 мг/л.

Интересно отметить, что функцию дождя как переносчика минеральных соединений и питательных веществ нельзя свести к простому подсчету: столько-то привнесенных удобрений – такое-то увеличение урожая. В.Е. Кабаев много лет прослеживал прямую связь между размером урожая хлопка и количеством воды в осадках. В 1970 году он пришел к интересному выводу: стимулирующее воздействие дождя на посевы вызвано, очевидно, присутствием в нем пероксида водорода. Достаточно обычного содержания H_2O_2 в осадках (7...8 мг/л), чтобы атмосферный азот связывался в соединения, обогащающие питание растений, улучшалась подвижность элементов в почве (прежде всего фосфора), активизировался процесс фотосинтеза. Установив эту функцию дождя, ученый считает возможным искусственно доставлять растениям пероксид водорода, добавляя его в воду при опрыскивании.

В журнале «Химия и жизнь» был приведен подсчет количества солей, ежегодно поступающих с осадками на квадратный километр пляжа в городе Сочи. По ионному составу соли распределяются следующим образом:

Катионы	**т/км²**
Натрий	12,5
Магний	3,5
Кальций	5,95
Анионы	**т/км²**
Хлор	10,6
Сульфат	20,6
Карбонат	31,4
Итого	**84,6**

Аэропланктон

Некоторые примеси дождевой воды так же неожиданны, как и источники их образования. Так, американский микробиолог Паркер установил, что ливневые осадки содержат значительное количество таких органиче-

ских веществ, как витамин B_{12}, никотиновая кислота, биотин. Проверив органический состав атмосферных примесей – различных твердых частиц, он заключил, что воздух содержит множество микроорганизмов, в том числе и водоросли, причем часть их находится в активном состоянии. Временным местопребыванием этих организмов могут быть облака, особенно кучевые: даже на высоте 6...9 тыс. м, которая является «потолком» для этих облаков, сохраняется температура, приемлемая для протекания жизненных процессов. Присутствие в облаках воды, микроэлементов, таких газов, как кислород, оксид углерода (IV), азот, а также наличие интенсивной лучистой энергии – все это создает благоприятные условия для фотосинтеза, обмена веществ и роста клеток. По мнению Паркера, «облака представляют собой живые экологические системы», которые дают возможность жить и размножаться многоклеточным микроорганизмам. Их выделения органические вещества типа витаминов – попадают на Землю, особенно с ливневыми дождями. А ведь до сих пор, зная об «аэропланктоне» верхних слоев атмосферы – спорах, грибках, пыльце растений, ученые считали, что они находятся там в нежизнеспособном состоянии. Очевидно, результаты новых исследований многое изменят в наших представлениях об атмосферной влаге. Влага в воздушном океане, как и вода в Мировом океане, вероятно, выполняет важную роль внешней среды для кругового обмена веществ его обитателей. Попадая на поверхность планеты, эти вещества неизбежно оказываются тесно связанными с жизнью земной. Трудно даже переоценить возможности, которые даст человечеству детальное изучение таких процессов. Это и предотвращение распространения болезнетворных бактерий, и использование микрофлоры облаков для биологических способов борьбы с загрязнением атмосферы, и решение многих других жизненно важных проблем.

Работы американских исследователей показали, что бактерии, связанные с фитопланктоном, населяющим приповерхностный слой океана, служат ядрами конденсации атмосферной влаги. Скапливаясь в морской пене, бактерии забрасываются ветром в атмосферу, причем их концентрация над Мировым океаном еще выше, чем, например, минеральных частиц в запыленной атмосфере над пустынными районами Австралии. Это подтверждено экспериментально: в лабораторных условиях бактерии способствовали замерзанию воды, то есть вели себя как типичные ядра конденсации.

Развитие этих исследований открывает перспективу получения атмосферных осадков с помощью микроорганизмов. Наряду с другими методами, возможность направленно влиять на скорость и интенсивность их размножения, вероятно, позволит в будущем управлять состоянием атмосферы.

ПРЕСНЫЕ ВОДЫ ЗЕМЛИ

Голубые артерии

Реки являются значительной частью ресурсов пресной воды. Вследствие непрерывной возобновляемости и легкодоступности именно речные воды наиболее пригодны для использования человеком. В развитии человеческого общества их роль чрезвычайно велика, так как хозяйственная деятельность без них практически невозможна. Реки служат путями сообщения, их используют для создания оросительных систем, они являются источниками механической энергии, водоснабжения и, особенно в последнее время, служат незаменимыми поставщиками пресной воды для промышленности.

По континентам ресурсы речных вод распределены неравномерно: в Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% мировых запасов речных вод.

СНГ по общему объему речного стока значительно богаче всех крупнейших государств мира, но показатель удельной водообеспеченности (на единицу площади) этих государств в среднем в полтора раза ниже мирового. В среднем территория СНГ по водообеспеченности оценивается как удовлетворительная.

Распределение рек на территории нашей страны крайне неравномерное. Наиболее обеспечены водными ресурсами северные и северо-восточные районы России. Они занимают половину площади стран СНГ, и на их долю приходится 80% всех водных ресурсов. Украина имеет в этом отношении один из наиболее низких показателей по СНГ – 4420 м^3 на одного жителя и 0,34 км^3 на 1 км^2 площади. Причем внутри страны наблюдается резкая диспропорция: в Закарпатской области в год на 1 км^2 территории приходится 625000 м^3 водного стока, в Херсонской области – лишь 5400 м^3.

Большое значение для функционирования рек имеют атмосферные осадки, которые образуются в результате испарения влаги из океана и суши. При этом непосредственное питание рек осуществляется дождями, при таянии снегового покрова, талыми водами ледников, а также подземными источниками, которые в значительной мере обязаны своим образованием атмосферным осадкам.

Устойчивая снежная зима, характерная для большей части территории нашей страны, является причиной того, что большинство рек получают в основном снеговое питание, и паводок у них наступает весной. Это обусловливает очень сложный состав паводковых вод, так как в течение долгих зимних месяцев из атмосферы в бассейн реки поступают с осадками самые различные вещества. Пылевидные промышленные выбросы, продукты сгорания угля и нефти, облака вулканической пыли и т.п. непосредственно попадают в водоемы или оседают на сушу и постепенно смываются в водоемы. А на территориях со снежным покровом все эти осевшие частицы накапливаются и в половодье в течение короткого времени сносятся в реки и озера, изменяя в них состав воды. Хотя подобное изменение в основном непродолжительно, оно усложняет работу водоочистных сооружений, требует специальных мероприятий в рыбном хозяйстве и т.д.

Реки снегового питания, особенно восточно-сибирские, как правило, имеют низкое солесодержание (так называемый малый ионный сток), вода в них мягкая, маломинереализованная. Во многом это объясняется типом промытых подзолистых грунтов, по которым они протекают, а также полноводностью.

В районах с обильными дождевыми осадками паводки в основном бывают дождевого происхождения и, как правило, приурочены к дождевому сезону (например, в бассейне Амура – летом, в период летних муссонов, в

Средиземноморском бассейне – зимой, в Малой Азии – весной, в бассейнах Нигера и Амазонки – осенью).

При дождевых паводках, в отличие от снеговых, чаще и резче колеблются уровни рек, причем пики этих показателей многочисленны, но кратковременны. Соответственно изменяется и содержание в речной воде минеральных, а также природных органических веществ и ядохимикатов, смываемых с полей дождевыми потоками.

У горных рек, берущих начало от ледников и многолетних снежников, половодье приурочено к летнему времени. Именно в эту пору года достигает максимума таяние снега и льда. Следует отметить, что такой режим рек важен в хозяйственном отношении: зачастую реки находятся в засушливых зонах с устойчивым теплым климатом и широко используются для орошения, когда потребность в воде наибольшая (например, большая часть стока Амударьи и Сырдарьи). Особый интерес представляют полярные реки такого типа. В Гренландии, например, есть реки, текущие в ледовом ложе. Обнаружили их и в Антарктиде. «Жизнь» таких рек длится всего несколько месяцев и совпадает с периодом летнего таяния снега. Это наименее минерализованные реки в мире.

На острове Шпицберген есть поселок Пирамида. Там в водопровод поступает почти дистиллированная вода прямо из речки, текущей по леднику Бертиль. Зимой для «стимулирования» речки, в ледяную, пещеру подают пар от небольшой ТЭЦ, а недостаток в воде минеральных веществ жители поселка восполняют употреблением иодированной соли.

Наиболее стабильны уровни рек, образующихся из мощных источников глубинных подземных вод, а также вытекающих из крупных озер. Они отличаются постоянством минерального состава и почти полным отсутствием (у истоков) микрофлоры.

К сожалению, в Европе подземный сток на единицу площади вдвое ниже среднего показателя для всех континентов. Поэтому так маловодно большинство рек стран СНГ в межень (сухое или холодное время года), именно в тот период, когда они имеют возможность пополняться главным образом за счет подземных вод.

Главные резервы

Большая часть запасов пресных вод стран СНГ сосредоточена в озерах, которых насчитывается около 2 млн. 800 тыс. Суммарная их площадь составляет 2% территориии. В целом на нашей планете запасы пресных озерных вод оценивают в 176000 км».

Многие современные озера были образованы в результате отступления ледников в период последнего оледенения. Таково происхождение Ладожского, Онежского, а также пяти Великих Американских озер. Глубочайшие озера возникли там, где образовались провалы в результате разломов и опускания земной коры. Самое глубокое озеро на планете – Байкал (1620 м), затем африканское озеро Танганьика (1470 м). Большую глубину имеют «круглые озера», располагающиеся в кратерах потухших вулканов и карстовых воронках. Очень живописные, чистые и глубокие озера нередко образуются в горах в результате катастрофических горных обвалов (например, Рица на Кавказе, Сарезское озеро на Памире). Дата рождения Сарезского озера известна совершенно точно – 8 февраля 1911 г. В этот день в верхнем течении реки Мургаб в воду обрушились миллиарды кубометров скальных глыб. Образовалась естественная набросная плотина высотой 600 м и началось формирование озера. Через три года оно стабилизировалось и получило постоянный сток путем фильтрации вод через тело плотины.

Естественная плотина с честью выдерживает давление массы воды весом свыше 20 млрд. т.

«Сарез» по-таджикски означает «льющий на голову». Озеро площадью 100 км^2 грозно нависает над нижележащими поселками. За озером постоянно наблюдают ученые. По предварительным расчетам оно будет вполне безопасным, если его уровень искусственно снизить на 100 м. Избыток воды может быть эффективно использован для орошения плодородных земель Горно-Бадахшанской автономной области и получения электроэнергии.

Среди пресных озер особое положение занимает Балхаш, Не будучи вполне пресным, это озеро не может считаться и соленым. Естественная дамба почти полностью разделяет его на две части. В западной содержится пресная вода, в восточной – соленая. Обе части

неодинаковы по составу населяющих их живых организмов.

Озеро Могильное, расположенное на острове Кильдин в Кольском заливе, отгорожено от Баренцева моря естественной дамбой, сложенной из пересыпанных песком валунов, плиток песчаника и гальки. Дамба поддерживает равновесие между поступающими в озеро соленой морской водой и пресной водой из атмосферы и с суши. По минеральному составу это уникальное озеро напоминает слоеный пирог: до глубины 4 м вода в нем пресная, затем соленость воды резко возрастает, и на глубине 7 м вода в озере содержит почти столько соли, как вода Баренцева моря. На глубине 13 м в озере накапливаются сероводород, метан и углекислый газ. Тонкий слой воды на границе сероводородной зоны окрашен в красивый розовый цвет. Это результат жизнедеятельности фотосинтезирующих серобактерий, не пропускающих ядовитый сероводород в верхние слои воды. Минеральному составу озера соответствует распределение его обитателей: здесь широко представлены обычно не встречающиеся в одном водоеме пресноводные и морские растения и животные. Благодаря такому сосуществованию, они во многом отличаются от родственных особей, живущих в типичных условиях, и служат объектом научных исследований. Однако озеру и его обитателям наносится большой урон: оно все больше загрязняется отходами, содержащими моющие средства и нефтепродукты. Озеро Могильное не должно остаться безнадзорным, чтобы не оправдалось его печальное название.

В районах повышенной влажности, где поступление воды намного превышает ее расход на испарение, озера становятся проточными, давая начало рекам. Своеобразен Байкал: принимая в себя несколько сот больших и малых рек, он «выпускает» лишь одну Ангару, мощную, стремительную. В засушливых районах озера преимущественно бессточные, настолько велико испарение с их поверхности.

Как и реки, озера распределены крайне неравномерно. Большинство их находится на северо-западе европейской части стран СНГ, в Западной Сибири и Северном Казахстане. Преимущественно это небольшие водоемы. Основная масса пресной воды — 26000 км^3 — сосредоточена в 16 крупнейших озерах (Байкал, Ладожское, Онежское и др.). На долю одного только Байкала приходится 88% всего запаса пресной воды.

Байкал, словно естественный колоссальный биофильтр, производит чистейшую питьевую воду. Молевой сплав леса больше не практикуется, и русла крупных рек, впадающих в Байкал, на протяжении 700 км расчищены от затонувшей древесины. Приняты меры и по предотвращению загрязнения озера нефтесодержащими отходами с судов. Для этого созданы пункты приема отходов и балластных вод, а сброс их в озеро не допускается. Качество байкальской воды непрерывно контролируется гидрометеослужбой. На берегах озера созданы два заповедника и десятки заказников, где сохраняется и изучается около 2000 видов растений и животных.

Развернутая программа охраны и рационального использования уникального водоема позволит сберечь Байкал для будущих поколений.

У большинства озер вековые запасы воды крайне медленно возобновляются: в среднем 1,5% в год от общего запаса, а у Байкала — лишь 0,3%. Постепенная деградация озер зависит от интенсивности смыва с полей соединений фосфора и азота — составной части удобрений, от поступления сточных вод, содержащих минеральные и органические загрязнения, а также от отложения остатков растений и животных.

В результате этих процессов озера загрязняются, падает их биологическая продуктивность, изменяется режим. Озера либо превращаются в болота, либо погибают. Немалую роль при этом играет продолжительный сброс ядовитых промышленных стоков.

Естественные же процессы формирования озер, особенно бессточных, обычно приводят к их постепенному перерождению в болота.

Болото болоту рознь

Болота, или застойные водоемы, также вносят свою лепту в общий круговорот воды.

Несмотря на то, что площадь одних только торфяных болот во всем мире составляет более $1 \cdot 10^6$ км^3, в настоящее время возникла серьезная проблема охраны болот. С этой це-

лью, а также для изучения перспективы их рационального использования в 1967 году в рамках ЮНЕСКО была создана специальная международная организация, объединяющая ученых 18 стран. Темпы осушения болот настолько высоки, что во многих местах это грозит их полным исчезновением. Однако такой исход совершенно недопустим. В этом убеждают и экономические аспекты: например, по американским данным, одна лишь сдача в аренду охотничьих угодий на болотах, с хижинами и шалашами, дает большую прибыль, чем превращение этих болот в сельскохозяйственные территории. Обычно на болотах в изобилии водятся сотни видов птиц, ценные пушные звери (нутрии, ондатры). Нередко болота представляют собой великолепные ягодники: там без всякого применения человеческого труда и удобрений растут клюква, морошка.

Болота являются единственным источником и кладовой неоценимого богатства – торфа. На торфе работают электростанции. Торф – важнейшее химическое сырье для получения минерально-аммиачных удобрений, спиртов, кислот, красителей. Лекарствами, приготовленными из торфа, лечат глазные болезни, ожоги, воспалительные процессы.

Трудно переоценить роль болот в природном равновесии. Особенно велико значение так называемых верховых болот. В них, как в огромной губке, накапливается избыток влаги, расходующийся в течение лета на питание ручьев и рек, на поддержание влажности воздуха. Там, где верховые болота непродуманно поторопились осушить, сразу снизился уровень грунтовых вод, обмелели реки, превратились в бесплодные солончаки заливные луга.

Таким образом, болота как природные объекты представляют собой большую ценность. Круговорот воды в болотах в десятки раз медленнее по сравнению с реками или проточными озерами, и отравление, гибель болот вместе со всем их неповторимым растительным и животным миром может наступить быстро и необратимо.

Величественный Днепр зарождается во мхах небольшого болота на севере Смоленской области. Запасы днепровской воды существенно пополняются в Починковском лесничестве, где реку питает заболоченный массив общей площадью 1400 га. Поддержанию водного режима Днепра способствует создание на всем его протяжении водоохранной зоны шириной 50...300 м.

По-хозяйски используют болота и в Литве. Здесь на болотистых территориях учреждено 32 клюквенных заказника, запрещены мелиоративные работы и торфодобыча

Неоценимую пользу приносит не только рациональное освоение природных богатств болот, но и изучение процессов, протекающих в них.

Бесструктурные, водонепроницаемые пластичные слои почвы болотного дна (их называют глеевыми) образуются в природных условиях при активном участии микроорганизмов. Это подсказало ученым пути повышения накопительной способности искусственных водоемов. На основании изучения природных процессов глееобразования был предложен простой и дешевый биохимический метод, позволяющий значительно уменьшить влагопроницаемость искусственных водоемов и снизить потери воды. Этот метод был применен. На почве дна котлованов или канав бульдозером распределяли отходы сельскохозяйственного производства, богатые клетчаткой: солому, сорняки, ботву картофеля и т.п., насыпали слой грунта толщиной 15...20 см и заливали эту площадь водой. В таком своеобразном слоистом экране растительное вещество служит питательной средой для анаэробных бактерий. В процессе жизнедеятельности, отнимая кислород от почвенных частиц, эти бактерии изменяют структуру почвы и способствуют образованию водонепроницаемого слоя. Уже через два месяца появляется глеевый слой толщиной до 5 см, а через три года – до 35 см, и просачивание воды в грунт практически прекращается. Так «прирученные» бактерии помогают сохранить сотни миллионов кубометров воды.

Дальнейшее изучение таких сложных экологических систем, как болота, позволит биологам, гидрологам, почвоведам сделать вклад, имеющий существенное практическое значение. Благоприятную почву для этого создает включение территорий болот в состав заказников и заповедников.

Искусственные моря

Искусственные водоемы – водохранилища и речные моря – начинают играть в гидрографической сети стран СНГ все большую роль. Сейчас в них насчитывается около 1150 крупных водохранилищ. По площади водного зеркала такие водоемы намного превосходят большинство наших природных озер. Общий полезный объем искусственных водохранилищ достигает 500 км^3. Для всех водохранилищ мира эта величина составляет 2300 км».

По гидрологическому режиму водохранилища являются водоемами замедленного водообмена; питают их воды основной реки и ее притоков. Водохранилища предназначаются, прежде всего, для выравнивания стока (зарегулирования), а также служат для целей гидроэнергетики, орошения и др. Таким образом, создание водохранилищ позволяет более рационально использовать водные ресурсы в различных отраслях промышленности, способствует широкому развитию обводнения в засушливых районах.

Однако зарегулирование стока рек плотинами и образование водохранилищ имеют и немалые отрицательные последствия для водного хозяйства в целом. Сокращается водообмен; свойственный рекам транзитный тип природного круговорота превращается в практически замкнутый, характерный для озер, поскольку снижается скорость течения, уменьшается мутность воды, существенно изменяется гидрохимический режим. К каким непредвиденным последствиям это может привести, показывает, например, неожиданный сдвиг экологического равновесия в бразильских водоемах. Издавна в реках и озерах северо-востока Бразилии водились мелкие рыбы пираньи, снискавшие недобрую славу безжалостных хищников. Нападая всегда стаями, они в считанные минуты могут обглодать до скелета даже крупное млекопитающее, случайно оказавшееся в водоеме. В последние годы наблюдается настоящее нашествие пираний. Основная причина этого – создание широкой сети гидростанций, что привело к появлению большого количества водоемов, скудно насыщенных кислородом, с относительно медленным течением. Такие водоемы – удобная среда для пираний. Вместе с тем значительно ухудшились условия обитания ценной промысловой рыбы дорадо, которая любит быстрые чистые воды.

Сдвигу экологического равновесия способствовали и дикие утки, численность которых также возросла на новых мелководьях. В их рацион входит икра пираний, откладываемая у корней водорослей. Часть икринок, прилипая к лапкам и крыльям уток, переносится в другие водоемы, где раньше пираньи не водились.

Чтобы избавиться от напасти, бразильские зоологи пытались разводить другую хищницу – рыбу тукунаре, но ей не подошла температура многих водоемов; пробовали переселить тигровую рыбу из далекого африканского озера Карибу, но та оказалась еще более прожорливой, чем пираньи, и из боязни новых нежелательных последствий опыты с ней были приостановлены. Теперь пытаются искусственно насыщать некоторые водоемы кислородом с помощью компрессорных установок.

Ожидается, что, благодаря широкому осуществлению гидротехнического строительства, к концу столетия площадь всех орошаемых земель в мире превысит 200 млн. га. Однако техническая деятельность человека, направленная на преобразование поверхности Земли, может привести и к крайне нежелательным последствиям. Когда создание водохранилищ и оросительных систем проводится недостаточно продуманно, почвы заслоняются, значительные территории заболачиваются, а по берегам водохранилищ интенсивно развиваются оползни и обвалы.

В СНГ, где многие водохранилища созданы на равнинных реках, возникла проблема мелководий. Их площадь составляет уже около 1 млн. га. Фактически мелководья не играют существенной роли в накоплении запасов воды. Но под ними заняты обширные сельскохозяйственные угодья, они подтапливают окружающие земли. В Киевском море до 40...50% водного зеркала приходится на мелководья. Мелководья, а затем и водохранилища в целом стали ареной нашествия микроскопических растений – сине-зеленых водорослей. По урону, который они наносят, эти крошечные организмы ничуть не лучше зубастых бразильских пираний. Из сотен видов сине-зеленых водорослей девять вызывают

сильнейшее загрязнение, называемое цветением воды. Осуществляемое в широких масштабах зарегулирование крупнейших рек, в частности Днепра и Волги, создало для цветения воды неограниченные возможности. Идеальная среда обитания сине-зеленых водорослей – обширные, хорошо прогретые солнцем, слабопроточные мелководья, обогащенные фосфором и азотом органических веществ, содержащихся в дождевых смывах с почвы. Именно такие условия эти водоросли нашли в водоемах зарегулированных рек.

Порой микроскопические водоросли размножаются настолько бурно, что все водохранилище затягивается слизистой пленкой.

Отмирая, сине-зеленые водоросли приносят настоящее бедствие: в воду в большом количестве поступают фенолы, индол, скатол, другие ядовитые вещества и продукты их разложения. Рыбы покидают такие водоемы, вода в них становится непригодной даже для рекреационных[1] целей.

Изыскиваются эффективные способы борьбы с сине-зелеными водорослями. В Институте гидробиологии АН Украины разработан способ продувки кислорода сквозь толщу воды, зараженной ими. Применяют и специальные ядохимикаты, убивающие водную флору.

Под действием минеральных коагулянтов, применяющихся также для осветления и очистки воды, идущей в водопроводную сеть, водоросли необратимо слипаются в комки. Найдены вирусы, для которых сине-зеленые водоросли являются желанным блюдом.

Перспективно и применение специальных всасывающих устройств, извлекающих водоросли из воды, после чего их используют как удобрения для полей или как промышленное сырье, потому что эти водоросли содержат до 50% белка, большое количество витамина $B_{ы}$ и другие ценные компоненты.

В Институте ботаники АН Туркмении разработан новый метод борьбы с сине-зелеными водорослями путем использования их естественных врагов – высших водных растений. Установлено, что тростник, рогоз, камыш выделяют фитонциды, токсичные для этих водорослей. Особенно сильно угнетает их развитие роголистник погруженный.

[1] Рекреация (лат. recreatio букв. восстановление) – отдых, восстановление сил человека, израсходованных в процессе труда.

ДАРЫ ПЛУТОНА

Что таится в недрах

Значительная часть воды на нашей планете скрыта под ее поверхностью. С давних времен эту воду называли подземной. Так ее называют и теперь, хотя правильнее было бы характеризовать ее как внутриземную или подпочвенную. Лишь относительно малая доля такой воды выходит на поверхность в виде тихих ключей, горных ручейков или бурных пароводяных фонтанов – гейзеров. Основные же массы ее тысячелетиями накапливаются в невидимых кладовых, стиснутые между водоупорными слоями, пока не откроется где-либо свободный выход или не выпустит их на простор дерзкое вмешательство человека.

Верхняя граница подземных вод проходит на различных глубинах – от нескольких метров до нескольких десятков и сотен метров. Ниже этой границы почти все поры и трещины в горных породах заполнены водой, за исключением отдельных участков нефтяных и газовых месторождений, где поры и трещины заняты нефтью и газом.

По расчетам в верхней пятикилометровой толще земной коры на континентах содержится $84,4\cdot10^6$ км^3 воды. Из них $60\cdot10^6$ км^3 составляет свободная (гравитационная) вода, способная передвигаться под влиянием силы тяжести.

Во всей земной коре содержится около $1,5\cdot10^9$ км^3 воды, что соизмеримо с объемом Мирового океана.

Подземные воды – это единственный вид полезных ископаемых, запасы которых могут возобновляться в процессе эксплуатации, поскольку они являются сложной динамической системой, взаимодействующей с окружающей средой. Поэтому запасы подземных вод подразделяются на статические (так называемые вековые воды) и динамические (возобновляемые). Эксплуатационные запасы подземных вод определяются расходом, который может быть постоянно получен за единицу времени.

Мировые динамические запасы подземных вод составляют 12000 км^3, в том числе для СНГ – 880 км^3. Это подземные воды так называемой зоны активного водообмена, которые дренируются реками и создают устойчивую часть речного стока.

Ниже уровня дренажа рек предполагается наличие не менее 9/10 общего запаса вековых подземных вод, имеющих очень слабую активность водообмена.

О ресурсах пресных подземных вод можно судить по величине подземного стока в реки. Для стран СНГ этот сток превышает 30000 м^3/с, что составляет почти четверть общего речного стока.

На территории нашей страны пресные подземные воды наиболее распространены в России, а также в Казахстаыне, где были обнаружены их огромные линзы, по объему равные нескольким Аральским морям. Обширные подземные линзы пресной воды найдены и в странах Средней Азии.

Украина имеет немалые ресурсы пресных подземных вод. Четвертая часть всей воды, поступающей в водопроводы страны, забирается из подземных источников, а в ряде областей – Львовской, Херсонской, Черновицкой и др., – для питьевых целей используются в основном только подземные воды.

За счет подземных вод полностью осуществляется водоснабжение почти 2/3 городов Украины. Во многих городах, например в Киеве, для водоснабжения используют одновременно и подземные, и поверхностные воды.

Извечный холодильник

Помимо подземных вод, под обширными пространствами верхних пластов суши распространены еще и подземные льды. Их общая масса оценивается величиной в

500000 км^3. Территории, содержащие подземный лед (зоны многолетней мерзлоты), занимают 47% площади России. В толще вечномерзлых грунтов лед заполняет трещины и поры горных пород, выступая в роли своеобразного цемента. В отдельных местах лед образует сплошные залежи в виде пластов и линз, ледяных жил, штоков. Мощность ледяного слоя может достигать 50 м.

В зонах вечной мерзлоты встречаются своеобразные подземные воды – криопеги. Так называются концентрированные подземные рассолы, сохраняющие жидкое состояние при отрицательных температурах. Обычно температура замерзания их не ниже -10°С, но отдельные зоны жидких рассолов обнаруживали и при -36°С.

Залегая на глубине 200...300 м и имея возможность двигаться в пластах горных пород, криопеги создают природный холодильник, простирающийся в глубь Земли более чем на километр и охватывающий 2/3 Сибирской платформы, острова и побережья Северного Ледовитого океана, включая его шельф. Наличие криопегов весьма осложняет водоснабжение этих районов, затрудняет добычу нефти и газа: при пониженных температурах в глубоких пластах нефть становится очень вязкой, а газ (метан) образует с водой льдоподобные кристаллогидраты. Ученые предсказывают существование мощной криопеговой зоны и под Антарктическим ледяным щитом. Возможно, исследователи в скором времени найдут эффективные пути использования криогенных свойств подземных рассолов, и тогда промышленность получит дешевый природный хладагент в практически неограниченных количествах.

Полезные примеси

Благодаря тому, что воде, находящейся под повышенным давлением, присуща высокая растворяющая способность, подземные воды богаты разнообразными комплексами ионных, молекулярных и коллоидных примесей, зачастую насыщены газами.

Самая пресная подземная вода встречается обычно в высокогорных источниках. Иногда содержание солей в ней ниже 0,1 г/л. Подземные рассолы, залегающие под равнинными территориями, отличаются противоположными свойствами: в них содержатся одинаковые по массе количества солей и воды. В Туркмении, например, обнаружены рассолы с минерализацией 547 г/л.

Химический состав подземных вод определяют по сочетанию преобладающих ионов: гидрокарбонатно-кальциевые, хлоридно-натриевые и т.п. Степень минерализации подземных вод обычно находится в определенной зависимости от их химического состава.

Так, пресные воды – преимущественно гидрокарбонатные. В рассолах средней концентрации (100...150 г/л) чаще всего преобладает хлорид натрия. В более крепких рассолах наряду с ионами хлора содержится также много кальция и магния. С ионным составом подземных вод связано и содержание в них некоторых газов, особенно углекислого. От него зависит карбонатное равновесие (соотношение катионов водорода, кальция и анионов гидрокарбоната и карбоната). Подземные воды повышенной углекислотности агрессивны по отношению к строительным сооружениям, особенно к тем, которые имеют в своем составе бетон.

Фактически подземные воды содержат все элементы периодической системы Д.И. Менделеева, вплоть до редкоземельных. Поэтому они могут являться источником ценного химического сырья. Известно, что еще в XI веке поваренную соль на Руси добывали выпариванием подземных рассолов. Сейчас из подземных вод получают практически весь иод и большую часть брома.

В США и Италии из подземных рассолов, кроме иода и брома, получают борную кислоту, вольфрам, литий, германий. В Чехословакии из минеральных источников Карповых Вар ежегодно добывают 1300 т глауберовой соли и 800 т соды.

В подземных водах содержатся также органические вещества, выделяющиеся в результате биохимических процессов, которые протекают в верхних слоях почвы, или при контакте с залежами горючих ископаемых.

Недавно установлено, что в подземных водах широко распространены в виде газообразных примесей низшие углеводороды. Особенно много их в пластовых водах нефтегазовых бассейнов. По расчетам ученых только в СНГ

в пластовых водах содержится 4000 триллионов кубометров этого ценнейшего сырья. Это в сотни раз больше известных промышленных запасов нефти и газа во всем мире.

Подземные воды начинают рассматривать как весьма перспективный источник добычи природного газа. В Японии, например, уже сейчас 30% природного газа получают именно таким путем. Учитывая, что в пластовых водах содержится много других ценных химических компонентов, переработку подземных вод можно осуществлять в виде комплексного многоотраслевого производства, безотходного и высокорентабельного.

Как правило, в подземных водах очень слабо представлены микроорганизмы, а содержание болезнетворных бактерий практически исключено. Недаром с давних времен высоко ценилась кристально чистая родниковая вода. Только такую воду подавали по водопроводам в Древний Рим – город с миллионным населением; даже самой чистой речной водой римляне пренебрегали. В то время как пересыхали поля, воду из источников бесконтрольно забирали для города. В эпоху расцвета Рима на каждого жителя приходилось до 1000 л воды в сутки. Никогда и нигде чистейшую питьевую воду не тратили так расточительно, используя ее в банях, купальнях, в бесчисленных.

Подземные воды используются в первую очередь для питьевых целей, потому что, как правило, они не требуют специальной очистки, а в ряде случаев и обеззараживания.

Однако стерильность подземных вод таит, как теперь предполагают, и немалую потенциальную опасность. В случае загрязнения артезианская, родниковая или колодезная вода, не имея собственных «сил сопротивления», надолго остается опасной для здоровья человека.

Как ни парадоксально, открытые водоемы оказываются в лучшем положении: в них обнаружены вибрионы Штольпа – жгутиковые микроорганизмы. Установлено, что пищей им служат всевозможные микробы, присутствующие в воде, в том числе холерные вибрионы и тифозные палочки. Именно наличием вибрионов Штольпа объясняют могучую способность природных вод к самоочищению. Этих вибрионов, как правило, нет в подземных водах. Поэтому даже незначительное загрязнение таких вод может привести к тяжелым последствиям для людей и домашних животных.

Значительная часть подземных вод непригодна для питьевого и хозяйственного водоснабжения вследствие их высокого солесодержания, однако и они находят различное применение.

Минерализованные подземные воды с глубокой древности используют в лечебных целях. Их целебное действие во многом определяется повышенным содержанием биологически активных компонентов. В лечебной практике обычно применяют подземные воды с температурой не выше 40°С.

Доступное тепло планеты

Термальные воды с температурой до 80°С применяют для обогрева в тепличто-парниковых хозяйствах. В Исландии термальные воды используют для выращивания овощей, цветов, винограда и бананов. Около 17 гектаров теплиц обогреваются термальными водами в Болгарии. Длительное время действуют крупные тепличные хозяйства на термальных водах во многих населенных пунктах Кавказа.

Неисчерпаемый источник подземного тепла находит и другое применение – в плавательных бассейнах, для обогрева водоемов, для разведения рыб, для предотвращения оледенения опасных участков горных дорог и т.п.

Расширение сфер использования термальных подземных вод позволяетт не только экономить топливо, но, что особенно важно, снизить загрязнение окружающей среды.

Воду с температурой до 100°С во многих странах используют для теплофикации. В Исландии такая практика существует уже целое тысячелетие, со времен первых поселенцев. Столица государства – Рейкьявик – отапливается природной горячей водой с температурой 86°С, которая подается от горячих источников по 18-километровому трубопроводу. Сейчас для этого используют и подземные горячие воды, обнаруженные на большой глубине, прямо под городом. Не испытывают недостатка в этом бесплатном теплоносителе и другие города и поселки острова.

Под значительной частью территории Венгрии расположен подземный горячий бассейн. Считают, что это остатки древнего моря. 500 действующих горячих источников позволяют отапливать дома горожан, благодаря им в Венгрии действует множество открытых плавательных бассейнов. Кроме того, подземная вода обладает ценными лечебными свойствами.

В странах СНГ для отопления и горячего водоснабжения природные воды используют на Камчатке, в Закавказье, Южном Казахстане.

В различных странах в связи с открытием обширных запасов горячих вод усилился интерес к геотермальной энергетике. Например, под Парижем на глубине 1800 м обнаружен бассейн горячей воды, в котором потенциально заключено столько энергии, сколько сейчас вырабатывают все электростанции Франции. 60 подземных бассейнов горячей воды найдено на территории стран СНГ. Это позволяет возводить электростанции, работающие на подземном тепле.

Сейчас самая мощная в мире электростанция такого типа находится в Новой Зеландии, в поселке Вайракей. Ежегодно она вырабатывает 287 МВт электроэнергии. Пять геотермальных электростанций общей мощностью до 400 МВт действуют в Италии, менее крупные – в Исландии, Японии, США, Мексике, Конго.

Очень перспективным объектом использования подземных вод является орошение, которое приобретает особое значение в условиях современной интенсификации земледелия.

Активно эксплуатируются для орошения подземные воды в США, особенно в западных штатах с их засушливым климатом. По данным Геологической службы США, в сутки отбор подземных вод на эти цели составлял $172 \cdot 10^6$ м^3 (третья часть всего объема оросительных вод). 40% поливных земель орошаются подземными водами в Иране. 30% – в Индии.

«СТРАННАЯ» ВОДА

Чудодейственный магнит

Мы привыкли к тому, что в природной воде постоянно растворены разнообразные примеси. Однако даже незначительные количества некоторых из них изменяют привычные свойства воды совершенно неожиданным образом. Аналогично проявляется и воздействие определенных физических факторов. Это позволяет намного увеличить эффективность обычных свойств воды или найти ей новое применение.

Немало пишут о так называемой магнитной воде и об удивительных результатах, достигнутых благодаря ее применению в самых различных областях техники. Даже после кратковременного воздействия на воду магнитного поля в ней увеличивается скорость химических процессов и кристаллизации растворенных веществ, интенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей и выпадение их в осадок. Воздействие магнитного поля на воду сказывается на поведении находящихся в ней примесей, хотя сущность этих явлений пока точно не выяснена.

В.И. Классен, известный ученый в области магнитной обработки воды, подразделяет имеющиеся на этот счет гипотезы на три основные группы: «коллоидные», «ионные» и «водяные». В соответствии с гипотезами первой группы предполагается, что магнитное поле, действуя на воду, может разрушать содержащиеся в ней коллоидные частицы: «осколки» образуют центры кристаллизации примесей, ускоряя их удаление. Наличие ионов железа интенсифицирует появление зародышей кристаллизации, что приводит к образованию непрочного осадка, выпадающего в виде шлама.

Сторонники гипотез второй группы объясняют действие магнитного поля наличием ионов в воде, считая, что поле оказывает особое влияние на гидратацию ионов, то есть на возникновение вокруг них гидратных оболочек, состоящих из молекул воды с несколько измененной подвижностью. Чем больше и устойчивее такая оболочка, тем труднее ионам сближаться или оседать в порах адсорбента. Получены экспериментальные данные в пользу «ионных» гипотез: обнаружено, что под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек ионов, изменяется их распределение в воде. Не исключено, что роль ионов при магнитной обработке воды может быть также связана с возникновением электрического тока или с пульсацией давления.

Сторонники гипотез третьей группы предполагают, что магнитное поле оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды. Это может привести к деформации водородных связей или перераспределению молекул воды во временных ассоциативных образованиях, что также влечет за собой изменение физико-химических характеристик протекающих в ней процессов.

Магнитная обработка воды оказалась весьма эффективной при борьбе с накипью. Ускорение процесса кристаллизации минеральных примесей в воде, прошедшей такую обработку, приводит к значительному уменьшению размеров частиц накипеобразующих солей; в результате практически прекращается оседание их на стенках аппаратов и труб.

На некоторых нефтепромыслах магнитная обработка оказалась даже союзником в деле охраны водоемов от загрязнений. Так, пластовые воды уже не сбрасывают, как прежде, в Каспийское море: кратковременный контакт этих вод с магнитным полем устраняет угрозу засорения трубопроводов отложениями солей, и позволяет использовать их в замкнутом технологическом цикле.

Интересно, что магнитная обработка помогает не только предотвращать выпадение не-

органических солей из воды, но и значительно уменьшать отложения органических веществ, например парафинов. Такая обработка оказывается полезной при добыче и перекачке высокопарафинистой нефти, причем замечено, что действие поля возрастает, если нефть оводнена. Даже уже образовавшиеся отложения солей и парафинов разрушаются при контакте с магнитной водой. В США и Франции запатентованы методы опреснения морской и соленой воды, в которых значительную роль играет ее магнитная обработка.

Эффект ускорения кристаллизации и уменьшения размеров кристаллов, выпадающих из магнитной воды, используется и в других областях, например в строительной индустрии. Так, затворение цемента магнитной водой сокращает сроки затвердевания, и образующаяся мелкокристаллическая структура придает изделиям большую прочность и повышает их стойкость к агрессивным воздействиям. Для удаления из воды трудноосаждаемых тонких взвесей (мути) используется иное свойство магнитной воды – ее способность ускорять коагуляцию (слипание и осаждение) частиц с последующим образованием крупных хлопьев. Омагничивание успешно применяется на водопроводных станциях при значительной мутности природных вод; аналогичная обработка промышленных стоков позволяет быстро осаждать мелкодисперсные загрязнения. И здесь магнитная вода служит делу охраны водоемов, предотвращая попадание в них вредных примесей.

Способность магнитной воды улучшать смачивание твердых поверхностей используется для извлечения ценных металлов из руд при их флотационном обогащении. Изучение омагничивания водных растворов флотационных реагентов дало интересные результаты. Так, в обычных условиях при добавлении раствора нитрата свинца к раствору едкого кали образуются мелкие звездчатые кристаллики гидроксида свинца. Однако действие магнитного поля изменяет ход химической реакции в водной среде; образуется иное соединение – карбонат свинца.

Магнитная вода применяется не только в промышленности. Не менее успешно ее используют и в сельском хозяйстве. Например, пятичасовое замачивание семян свеклы в магнитной воде заметно повышает урожай; полив магнитной водой стимулирует рост и урожайность сои, подсолнечника, кукурузы, помидоров. В некоторых странах магнитная вода служит и медицине: она помогает удалять почечные камни, оказывает бактерицидное действие. Как видим, магнитное воздействие на воду вызывает множество эффектов, природу и область применения которых еще только начинают изучать. Проникновение в суть этого явления откроет не только практические возможности, но и новые свойства воды.

Эффект активирования

Сибирскими учеными Ф.А. Летниковым и Т.В. Кащеевой открыто явление, сущность которого заключается в следующем. Обессоленная вода или водные растворы, вследствие нагревания их до высоких температур под большим давлением изменяют свои свойства. После возвращения к обычным условиям такая вода находится некоторое время в особом, так называемом метастабильном состоянии, проявляющемся в повышенной растворяющей способности карбонатов, сульфатов, силикатов и других соединений, в способности длительно удерживать в своем составе аномальные количества растворенного вещества и значительно повышать кислотность. Такая вода названа активированной, а сам процесс – температурной активацией.

При проведении экспериментов по растворению ряда веществ в активированной воде обнаружили интересную особенность. Оказалось, очень важно, как осуществляется растворение: при энергичном перемешивании массы раствора, при периодическом взбалтывании или при длительном просачивании воды сквозь слои солей. На примере карбоната кальция установили, что эффект активированной воды совсем не проявляется в первом случае и наиболее отчетливо выражен в третьем. Так, при просачивании через слой карбоната кальция в четыре раза увеличила свою растворяющую способность вода, активизированная при 400°C, и вдвое-втрое – при 200°C и 300°C. Удельная электропроводность активированной обессоленной воды в 10...20 раз выше, чем неактивированной,

Открытие эффекта активирования может пролить свет на таинственные процессы, про-

текающие в толще нашей планеты, где развиваются высокие давления и температуры, происходит медленное просачивание горячих водных растворов по порам пород и минералов; возможно, оно позволит установить новые закономерности образования запасов полезных ископаемых и наметить эффективные пути их поиска.

Интересные свойства приобретает вода при введении в нее добавок некоторых органических веществ и даже отдельных элементов. Ничтожные количества таких добавок, воздействуя на воду, очевидно, изменяют ее структуру.

Рассмотрим явление, связанное с процессом давно и хорошо изученным — электролизом воды, при котором у анода образуется кислая среда, у катода — щелочная, что можно легко проверить с помощью лакмусовой бумажки. Прекращение воздействия электрического тока быстро возвращает жидкость в нейтральное состояние.

Чтобы продукты электролиза не смешивались, разделяют электролитическую ванну полупроницаемой перегородкой. Получая с помощью электролиза нужные продукты, раньше недостаточно интересовались собственно водной средой в этом процессе. Недавно был обнаружен неизвестный ранее физический эффект. Выяснилось, что щелочные и кислотные свойства воды в соответствующих участках сохраняются в течение нескольких часов. Вода при этом становится своеобразно активированной. Она представляет собой не просто щелочной или кислый раствор, а приобретает способность к активности. Например, для стабилизации глинистого бурового раствора при проходе нефтяных скважин в воду нужно добавлять ряд специальных компонентов — едкий натр, бурый уголь. Применение активированной воды не требует добавок, она не дает побочных загрязнений. Электрообработка воды позволяет готовить буровой раствор даже из морской воды, снижая ее солесодержание до требуемого уровня.

Интересны перспективы применения активированной воды в сельском хозяйстве. Опытные участки хлопка поливали либо щелочной, либо кислотной активированной водой. На щелочной воде растения пошли в рост значительно активнее, чем на контрольном участке с обычным поливом. Кислотная вода действовала как в волшебной сказке, словно «мертвая» — посеянный хлопок даже не взошел. Когда же этот участок тоже стали поливать щелочной водой, словно «живой» воды напилась земля, так бурно начал расти хлопок, обогнав даже растения, выращенные на щелочной воде.

Начались и медицинские эксперименты с актированной водой. Она ускоряет заживление ран и порезов. Проводятся испытания воды для лечения экземы и аллергии.

«Скользкость» и другие неожиданные свойства воды

Найдена возможность получения так называемой скользкой воды. Установлено, что обычная вода превращается в скользкую при введении в нее небольшого количества полимерных соединений, относительная молекулярная масса которых достигает нескольких миллионов, а в макромолекулах их содержатся регулярно чередующиеся кислородные атомы.

Американские ученые использовали полиэтиленоксид, или полиокс $(-CH2-O-CH2-)n$ в качестве такой микродобавки и вода приобрела удивительные свойства: скорость ее течения увеличилась в 2,5 раза, так же быстро заполняла она любую емкость. Причиной такой перемены служат, очевидно, особенности взаимодействия полимерных добавок и молекул воды. Между ними легко возникают водородные связи; вновь образованные ассоциаты с длинными линейными цепочками макромолекул, определенным образом ориентированные по оси потока жидкости, влияют на ее структуру. В результате уменьшаются обычные турбулентные завихрения в потоке и трение между его струями, благодаря более плавному движению жидкости существенно возрастает ее скорость.

К сожалению, полиоксовые добавки имеют недостаток: их эффект непродолжителен. В СНГ разработан метод получения скользкой воды с добавкой, действующей значительно дольше. Ученые использовали линейный полиакриламид. Сотые доли процента

этого полимера действуют на воду аналогично полиоксу.

Скользкую воду начали применять там, где нужно быстро подать ее в большом количестве, например при тушении пожаров.

Интересно, что скользкая вода передает свое свойство и предметам, движущимся сквозь нее. Стальной шарик в ней падает на дно в 2...2,5 раза быстрее, чем в обычной. «Скользкость» можно успешно использовать для очистки воды, поскольку возникновение ассоциатов молекул воды с макромолекулами полимерных добавок приводит к разрушению гидратных оболочек вокруг частиц загрязнений и делает для них воду как бы более скользкой, ускоряя их выпадение в осадок. Хорошие результаты получены в строительной индустрии при замешивании бетонных растворов на скользкой воде: смесь не расслаивается, быстрее перекачивается по трубопроводам, а прочность бетонных сооружений повышается.

Говоря о разновидностях воды с особыми свойствами, нужно упомянуть и так называемую «сухую» воду, в которую превращается обычная вода при введении в нее малых доз кремнесодержащих соединений. Есть «резиновая» вода, которая, вместо того чтобы выливаться из наклоненного сосуда, вытягивается вверх плотным эластичным жгутом. Не исключено, что будут найдены новые, неизвестные виды воды. Возможно, для их создания потребуются новые химические соединения в качестве добавок. Однако издавна известные и очень распространенные вещества тоже могут придавать воде поистине удивительные свойства. Наиболее замечательные качества сообщают воде микродозы серебра, меди и других металлов.

Обнаружено, что серебро обладает более высоким антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывает губительное действие на антибиотикоустойчивые штаммы бактерий. Вода, содержащая серебро в количестве 1 мг/л, хорошо инактивирует вирусы гриппа различных штаммов. Даже при значительно меньших концентрациях (0,1...0,4 мг/л) она способна убивать многие патогенные организмы, вызывающие опасные водные эпидемии. При этом воздействие постороннего фактора (в данном случае совсем незначительных количеств серебра) не оставляет видимых «следов на воде» (цвет, вкус, запах, агрегатное состояние ее остаются неизменными), и тем не менее вода приобретает свойства, которые делают ее целебной. Серебряная вода получила широкое практическое применение, хотя еще многое в сущности ее образования остается невыясненным (как и механизм ее участия во многих биологических процессах).

ВОДЕ ГРОЗИТ БЕДА

Прямое и косвенное загрязнение

Природной воде присущи различные загрязнения. Это естественно. Но неестественны и вызывают тревогу объем и состав загрязнений, которые сейчас поступают в реки, озера, моря. Их называют собирательным термином «антропогенные» (от греческого слова «антропос» – человек). Такие загрязнения, от которых ощутимо страдают природные воды, в той или иной мере вызваны деятельностью человека.

Анализируя характер загрязнений и те последствия, которые сказываются на состоянии водных ресурсов, можно выделить два основных типа загрязнений. Назовем их условно прямым и косвенным.

Прямое загрязнение возникает при непосредственном поступлении в реки и водоемы сточных вод. Это могут быть поступления, обусловленные природными процессами, например, талые воды, дождевые стоки. Могут быть специально собранные и сброшенные сточные воды городов и поселков, отдельных предприятий, животноводческих комплексов. Прямые загрязнения наносят значительный ущерб, но источники их поступления обнаруживаются не сразу. Сливные трубы «организованных» стоков нередко находятся далеко от городов, погружены в водоем, рассредоточены на значительной территории.

Косвенные загрязнения более заметны. Примером может послужить вырубка леса по берегам рек, в результате чего берега уже не могут играть роль естественных фильтров и водорегуляторов. При этом нарушается режим многих речных притоков, зачастую имевших родниковое питание. Пересыхают родники, сокращается поступление чистых вод, в итоге ветры беспрепятственно несут в водоемы и реки пыль, сор, а дожди порождают бурные грязевые потоки.

Отрицательно влияет также активное освоение берегов рек и водохранилищ. Беспорядочная застройка берегов, вытаптывание растительности разрушают почвенный покров, что приводит к нарушению всего природного комплекса, истощению и загрязнению водоисточников.

Происходит загрязнение воды и бытовыми отходами, даже если они накапливаются на берегах: с дождями они поступают в реки.

Человек – тоже источник загрязнения. В первые 10 минут купания с кожи человека смываются миллионы бактерий, различные кожные выделения. По расчетам биологов, на одного купающегося необходимо 9...10 м^2 пляжа. Если меньше – морская среда ощутимо изменяется; пресная – еще более уязвима.

Мало заметны сразу, но не менее опасны результаты необоснованных гидротехнических работ. Осушение болот, выравнивание русла рек ведет иногда к пересыханию территорий или, наоборот, к их заболачиванию. В результате и водный баланс ухудшается, и качество воды страдает. Особенно нежелательно осушение верховых болот, которые обеспечивают постоянное питание ручьям и рекам, являются веками отрегулированной природной системой.

Традиционным источником загрязнения природных вод были и продолжают оставаться хозяйственно-бытовые стоки. Это воды канализации, отходы жизнедеятельности человека.

Объем их не сокращается, а нарастает. И это закономерно. Например, на Украине, по данным 1975 года, в 94% городов и поселков городского типа имелся водопровод. Неизбежно растет и объем сточных вод. Необходимо увеличивать мощность канализации. Поэтому, как правило, наряду с расширением водопроводной сети сооружают и больше канализационных линий: водопровод резко увели-

чивает возможности потребления, и без канализации соответствующее возрастание объема стоков создало бы затруднительное положение.

Изменяется и состав хозяйственно-бытовых стоков. В них в значительных количествах появляются вещества, которые отличаются от биологических отходов жизнедеятельности человека и от легко усваивающихся природной средой.

Сейчас, например, редко найдешь хозяйку, пользующуюся при стирке мылом. Его повсеместно потеснили специальные моющие средства, содержащие синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Эти соединения относятся к «экологически жестким»: они очень трудно ассимилируются водной средой и крайне неблагоприятно изменяют состояние водоемов. На их окисление расходуется много растворенного кислорода, а это сокращает распад в воде других вредных примесей. Под воздействием даже небольших количеств СПАВ в водоемах образуется обильная и стойкая пена. В ней накапливаются всевозможные загрязнения и микроорганизмы, часто опасные для здоровья.

У рыб СПАВ вызывают жаберное кровотечение и удушье, у теплокровных животных – нарушения химических процессов в клеточных мембранах. СПАВ усиливают токсическое и канцерогенное влияние других загрязнений воды.

Согласно ГОСТа действуют жесткие ограничения поступления СПАВ в водоемы – так называемые ПДК (предельно допустимые концентрации). Для многих СПАВ ПДК не превышают долей миллиграмма в литре воды. Поэтому стоки, загрязненные СПАВ, обязательно должны тщательно обрабатываться на очистных сооружениях перед сливом их в реки и водоемы.

Очистные сооружения не всесильны

Во всех крупных городах существуют очистные сооружения канализационных вод перед выпуском их в реки и водоемы. Однако, зачастую это старые и маломощные сооружения, которые не справляются с возрастающим объемом стоков.

В тех же городах и поселках, где еще нет очистки бытовых стоков, загрязнение водных артерий прогрессирует. А главное, принцип работы очистных сооружений таков, что очистка происходит лишь частичная – механическая (от крупных примесей, взвешенных частиц) и биологическая (это как бы ускоренная природная очистка). В специальных сооружениях – аэротенках сточные воды обрабатывают активным илом, насыщенным микроорганизмами. Они разрушают органические примеси – продукты нашей жизнедеятельности (но не моющую синтетику) и болезнетворные микроорганизмы.

Органические вещества разлагаются до простых соединений, в частности, содержащих азот и фосфор. Эти соединения, поступая с очищенными стоками в природные водоемы, практически безвредны для человека, а для растительности, в том числе водной, являются прекрасной питательной средой. Их так и называют – биогенные вещества. Они способствуют интенсивному развитию водорослей, прежде всего сине-зеленых – своего рода сорняков. Цикл их жизни краток, они быстро и массово отмирают, на смену им вырастают новые. Процессы разложения нарастают лавинообразно, ухудшая свойства воды и губя высшую растительность и животных, обитателей водоемов.

Мы подробно остановились на последствиях очистки хозяйственно-бытовых стоков, так как именно такой тип очистки преимущественно осуществлялся и для других категорий стоков. Из строящихся и запланированных на ближайшие годы очистных сооружений каждое четвертое будет обеспечивать только механическую очистку, и почти все остальные не предусматривают более глубокой очистки, чем биологическая.

Сельскохозяйственные сточные воды и ливневые смывы также являются источниками загрязнения. При этом почти не встречаются очистные сооружения для сельхозстоков и практически нет очистки ливневых стоков.

Сельскохозяйственные стоки – понятие широкое, оно обозначает различные сточные воды, образующиеся в процессе сельскохозяйственного производства. Это ливневые стоки с полей, обработанных ядохимикатами, стоки складов ядохимикатов, сточные во-

ды машинно-тракторного парка, содержащие нефтепродукты и масла. Значительную долю загрязнений составляют сельхозстоки, содержащие биогенные вещества: удобрения, смытые с полей или содержащиеся в стоках складов сельхозтехники, жидкие отходы крупных животноводческих ферм (1000 голов скота загрязняет природные воды так же, как город с населением 15 тыс. человек). Наконец, это все то, что несет почва, смытая в водоемы в результате эрозии берегов и ветровой эрозии. Таким образом, попадание сельхозстоков в водоемы приводит к прямому загрязнению вод.

В современных городах и поселках с максимально асфальтированной или мощеной территорией стоки не имеют возможности постепенно просачиваться в почву, проходить там естественную длительную очистку и лишь затем попадать в водоемы. Все загрязнения смываются с асфальтированных городских территорий очень быстро, почти незамедлительно, и через ливневую канализацию сбрасываются в реки, озера и т.д. А ведь качественный состав загрязнений города стал иным, чем во времена, когда не было асфальта. На современный город оседают промышленные выбросы: канцерогенная сажа и копоть, агрессивные сернокислотные и азотнокислотные дымы, оксиды и соли тяжелых металлов, горючие и смазочные масла, широкий спектр химических соединений, смываемых дождями с заводских территорий, загрязненных отходами производства и т.п.

Главная опасность

Мы рассмотрели три категории стоков, загрязняющих водоемы в современном мире, – хозяйственно-бытовые, сельскохозяйственные и городские. Но, пожалуй, первоочередную опасность для рек и водоемов представляют промышленные стоки.

Разнообразие загрязнений здесь почти неограниченное. Наиболее распространены и опасны нефтепродукты, соли тяжелых металлов, цианиды, сернистые соединения, фенолы. Они не только отравляют воду и все живое в ней, но и требуют очень большого разбавления для прохождения процессов самоочищения природных вод.

Многие из этих веществ не чужды природе, они существуют в ней и встречаются в природных водах. Например, нефтяные соединения поступают из природных разломов земной коры, а также являются продуктами жизнедеятельности некоторых микроорганизмов. В водной среде существуют микроорганизмы, которые питаются нефтепродуктами. Но для процессов естественной ассимиляции нефтяных загрязнений требуются достаточные количества воды, чтобы были нужная концентрация микроорганизмов и достаточное содержание кислорода для поддержания их жизнедеятельности. Иначе говоря, нужно большое количество свежей воды для обезвреживания нефтесодержащих стоков природным путем. Это же требуется и для многих других веществ, попадающих в водоемы. Таких веществ становится все больше по сравнению с природными соединениями, находящимися в водах. Сейчас в окружающую среду выбрасывается до 400 тыс. наименований химикатов, а природных загрязнений воды насчитывается лишь около двух тысяч.

На 1 т продукции приходится в среднем 999 т отходов), увеличивается и поступление примесей в природные воды и их разнообразие. Разбавление же (для природной самоочистки) требуется значительное. Так, стоки нефтяной промышленности для естественной очистки требуют разбавления в 30 тыс. раз, а газогенераторных станций – в 3 млн. раз. Между тем, даже крупнейшая река Европы Волга может разбавить объем сбрасываемых в районе Волгограда сточных вод лишь в 350 раз. Следовательно, требуемого избытка чистой воды для разбавления стоков просто негде взять.

При существующих масштабах промышленного производства большинство предприятий уже имеют очистные сооружения и ведут предварительную очистку сточных вод перед сливом в водоемы.

В соответствии с законодательством России и Украины ни одно вновь строящееся промышленное предприятие нельзя вводить в действие без очистных сооружений.

В Украине в настоящее время 90% промышленных сточных вод проходят очистку перед сбросом в водоемы. Однако 10% неочищенных стоков (около $6 \cdot 10^8$ м^3) – тоже ощути-

мая нагрузка на водоемы. Таким образом, водоемы по-прежнему загрязняются биогенными веществами, а также минеральными солями, для поглощения которых нужны специальные сооружения типа опреснительных установок.

Для нормальной жизнедеятельности реки или водоема промышленные или городские стоки после очистки на механических и биологических сооружениях должны еще быть разбавлены природными водами в 20...30 раз. Только после этого вода, загрязненная стоками, восстанавливает свои первоначальные свойства.

Общее увеличение объема стоков, даже очищенных, которое неизбежно при дальнейшем росте промышленности, также неуклонно ведет к созданию дефицита природных вод.

Попадание в реки и водоемы загрязняющих агрессивных веществ чревато очень длительными последствиями. Донные отложения, ил обладают высокоразвитой активной поверхностью, способны подолгу удерживать поглощенные вещества и потом постепенно загрязнять ими свежие воды. Так возникает вторичное загрязнение вод, хотя исходная причина уже может быть и ликвидированной.

Неоспоримое первенство по объему сбрасываемых отработанных вод принадлежит теплоэнергетике. Изменение температурного режима водоемов, вызываемое поступлением подогретых вод с тепловых (ТЭС), атомных (АЭС) электростанций, а также ТЭЦ, называется термофикацией. Отработанные воды, как правило, мало изменены по химическому составу, основное их загрязнение — тепловое. Спущенные в водоемы из охлаждающих устройств, они отличаются в основном своей температурой. Она на 10...20°С выше температуры воды водоема.

Малые водоемы-охладители прогреваются полностью, в крупных создается определенная зона подогрева. Установлено, что подогрев воды в водоемах ускоряет развитие отдельных водных растительных и животных организмов, способствует увеличению кормовой базы для рыб, усиливает процессы самоочищения, ускоряя процессы разложения органического вещества. Вместе с тем повышение запаса тепла в водоеме и усиленное развитие некоторых групп растений и животных (водорослей, высшей водной растительности и др.) приводят к эвтрофикации (увеличению запаса минеральных и органических веществ) водоема со всеми неблагоприятными для этого явления последствиями.

Еще один источник промышленных загрязнений — поступление растворимых солей в пресные водоемы. Это преимущественно хлориды и сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Основная причина их поступления — неуклонное нарастание объемов вод шахтного и рудничного отмыва, то есть грунтовых и подземных вод из горизонтов, вскрытых при добыче, а также тех вод, которые использовались при разработке пластов.

Нарастание солености небезразлично даже для морей. Например, из-за сокращения речного стока, слива шахтных вод и притока черноморской воды, воды Азова в 1974 году стали солонее: вместо обычных 10 г/л соленость возросла до 13 г/л. Это заметно снизило продуктивность моря, а место исчезнувших рыб заняли медузы. В 1974 году общий вес медуз, проникших в Азовское море из Черного, составил 5 миллионов тонн. Это показатель деградации водоема.

Аналогичная картина наблюдается и в пресноводных водоемах, только вместо роста поголовья медуз там интенсивно размножаются низшие водоросли.

Таким образом, загрязнение водоемов может быть классифицировано по нескольким основным группам; отравление воды ядовитыми веществами и болезнетворными микроорганизмами; увеличение содержания биогенных веществ; повышение минерализации; повышение температуры.

Фактически все группы загрязнений, а особенно три последние, приводят к ускорению развития процессов эвтрофикации, созданию «мертвых» зон.

ПРОБЛЕМУ НУЖНО РЕШАТЬ КОМПЛЕКСНО

Помощь малым и большим рекам

Для правильного использования водных ресурсов, не причиняющего вреда водоемам, нужны целые системы мероприятий. Например, для охраны малых рек прежде всего необходимо создание по берегам регламентированных водоохранных зон, где было бы запрещено применять ядохимикаты, распахивать поймы и склоны под зерновые и огородные культуры. В этих водоохранных зонах рекомендуется выращивать лишь луговые многолетние травы.

Спрямление и расчистка русел рек, равно как и осушение верховых болот, должны проводиться экологически осторожно.

В ряде случаев зарастание рек высшей растительностью (камышом, осокой, роголистником) необходимо рассматривать как благоприятный экологический фактор. Эта растительность – эффективный и безотходный фильтр от вредных веществ. Например, на строящемся канале Днепр – Донбасс предполагается создавать специальные биоплато из высшей растительности.

Очистка по-новому

Создание очистных сооружений само по себе не решает проблемы защиты водоемов от загрязнения. Необходим принципиально иной подход. Видимо, не всегда и не во всем нужно слепо копировать природные системы. А ведь система отвода и очистки промышленных стоков создавалась по принципу рек, рассеивающих все загрязнения в своих водах с целью естественной самоочистки. Собирать все сточные воды в один поток и пропускать огромные массы разбавленных загрязнений через сооружения, имитирующие природные, в широких масштабах малоэффективно и нецелесообразно. Ведь биологические сооружения используют живых «очистителей» – микроорганизмы, ассимилирующие лишь узкий спектр загрязнений. Многие загрязнения просто пройдут через такие сооружения без изменений.

Взамен обычного рассеивания, диспергирования примесей в природной среде полезно концентрировать их и перерабатывать на самом предприятии или за его пределами. Тогда путь промышленных стоков будет совсем иным, чем природных загрязненных вод, сливающихся в ручейки и попадающих в реки и водоемы. Современная ситуация подсказывает иные решения существующего промышленного водоотведения. Одно из них состоит в том, что предприятие сбрасывает стоки, очищенные до такой степени, чтобы не повредить реке или озеру, куда они попадают. Взамен сброшенной непрерывно забирает свежую воду из чистого водоема такой степени чистоты, которая требуется производству (например, для отвода тепла, для первичной мойки и др.).

Именно так происходит большая часть промышленного водооборота. Но ведь более эффективно очистить воду настолько, насколько требуется по технологии, чтобы снова «пустить ее в дело»... Очистных сооружений потребовалось бы меньше и с более «узкой специализацией». А для отдельных потоков сточных вод нужны особые – локальные очистные установки. Это касается агрессивных стоков, содержащих соли тяжелых металлов, ядовитые соединения, нефть. Попадание их в общий поток приводит к нарастанию объема стоков, подлежащих очистке.

Таким образом, очистные сооружения явно выгоднее помещать не на общем выходе, а на отдельных стадиях технологического производственного цикла. Очистка становится уже не довеском к производству (и довольно дорогим), а одной из рабочих стадий технологического процесса. Благодаря этому, потребление воды на производстве осуществляется как циклический процесс, и водоснабжение

становится оборотным. На предприятиях Украины 70% используемой воды находится в системах оборотного водоснабжения.

Современные системы оборотного водоснабжения дают возможность вообще ликвидировать стоки, не загрязнять водоемы. Для этого необходимо разработать и внедрить прогрессивные технологические методы очистки сточных вод, в первую очередь в тех отраслях народного хозяйства, где наряду с большими масштабами водопотребления все еще велик сброс агрессивных сточных вод. К этим отраслям на Украине прежде всего относятся металлургия, химическая и пищевая промышленность.

Повторное использование воды поможет решить сразу три задачи: сократить забор свежей воды; сократить сброс загрязненных вод; возвратить в производство ценное сырье и готовую продукцию, ранее терявшиеся со стоками.

Для оперативного внедрения замкнутых водооборотов и создания бессточных производств нужна надежная научная основа: совершенствование аппаратуры для очистных сооружений, разработка более эффективных процессов и реагентов для очистки, внедрение новых методов – физико-химических и физических – для извлечения примесей из стоков. Благодаря разработке и внедрению методов очистных стоков на отдельных стадиях технологического процесса, самая высокая степень использования воды сейчас в металлургии: 82% воды находится в оборотных условиях. Очистные сооружения становятся рентабельными, позволяя не только сберечь воду, но и возвратить дефицитные материалы. Например, разработан метод очистки маслоэмульсионных стоков, создана установка, которая уже внедрена на нескольких крупных предприятиях. На основе физико-химических процессов флотации и электрофлотации очищаются сточные воды рольгангов и прокатных станов; при этом улавливаются из стоков применявшиеся в производстве проката дорогостоящие масла – пальмовое и кориандровое, которые раньше загрязняли водоемы.

В Академии наук Украины разрабатываются и внедрены схемы очистки стоков с использованием адсорбентов и ионообменных смол. Эти схемы находят применение прежде всего на химических и целлюлозно-бумажных производствах, где состав стоков почти не поддается эффективной биологической очистке.

В скором будущем стоки города, а также бытовые стоки промышленного узла после некоторой дополнительной очистки будут «подпитывать» замкнутую систему водоснабжения промышленных объектов. Туда же вернут, очистив с помощью ионитов, и слабоминерализованные стоки этих объектов. Лишь небольшая часть наиболее концентрированных отходов будет выводиться из цикла на захоронение.

С пользой для сельского хозяйства

Проблема создания бессточных производств может решаться различными путями. Так, на производстве можно не строить очистные сооружения или строить их только для отдельных технологических линий. А основную массу отходов направлять на орошение сельскохозяйственных культур. Пока такие методы применяют лишь для стоков пищевых производств, например, для стоков спиртозаводов. А ведь грунт и почва – самая надежная и мощная природная система очистки. Например, предельно допустимая концентрация фенолов, подаваемых на почвенную очистку, – 100 мг/л, что в 1 млн. раз больше допустимой концентрации для сброса в водоем.

Уже опробована почвенная очистка стоков текстильных фабрик, коксохимзаводов, нефтеперерабатывающих заводов и др. Такое комплексное использование стоков – это и орошение почвы, и ее подкормка, и очистка стока.

Водоемы сейчас страдают от избытка азотных и фосфорных соединений, попадающих с биологически очищенными стоками, зарастают низшими водорослями, а почва такие соединения усваивает полностью, потому что при современном интенсивном сельском хозяйстве она всегда ощущает их нехватку.

Если стоки за пределами предприятия не губят водоемов, а потребляются природой с пользой, о таком процессе тоже можно говорить, как о бессточном производстве.

Особенно остро стоит вопрос об утилизации стоков спиртозаводов. Эти стоки интенсивно бродят, загрязняют атмосферу, ухудшают санитарное состояние близлежащих населенных пунктов.

Рациональное использование этих стоков предложил УкрНИИ гидротехники и мелиорации. Разработан эффективный метод орошения и доочистки их в грунте. Производственная проверка была проведена на площади 600 га. Выяснилось, что такие стоки после их нейтрализации и разведения пресной водой в соотношении 1:5 можно применять для осеннего полива вспаханного поля. Особенно положительное влияние они оказывают на кормовые культуры. В них увеличивается содержание азота, белка, микроэлементов, биологически активных веществ. При таком методе очистки затраты каждого спиртозавода по сравнению со стоимостью биоочистных сооружений заметно уменьшаются.

Интересный метод очистки разработан учеными по программе СЭВ. Он заключается в том, что стоки очищают и обеззараживают одновременно, выращивая на них водоросль хлореллу. В процессе развития хлорелла очищает стоки от органических и минеральных примесей. Они перерабатываются в белки, жиры, углеводы, которые становятся составными частями клеток водорослей. Одновременно хлорелла вырабатывает бактерицидные вещества, изменяет кислотность стоков, что содействует гибели присутствующих в них бактерий. Практические эксперименты, проведенные учеными, подтвердили, что хлорелла успешно развивается в стоках со значительным содержанием азотистых соединений фосфора, органических соединений. На основании этого проводилась очистка стоков пищевых предприятий. Кроме очистки стоков, отжатая хлорелла использовалась в животноводстве как питательный и биостимулирующий концентрат.

Так образуется своеобразный цикл: завод – ферма – река – завод.

Жидкие стоки животноводства – существенный фактор загрязнения природной среды. Каждая тонна этих стоков содержит в среднем 9 кг азота, 2,5 кг калия, 1 кг фосфора, насыщена микроэлементами и природными биостимуляторами.

Сейчас разработан метод рационального использования жидких стоков. Созданы БОКС-пруды (биологические окислительные контактные стабилизационные пруды). В них вводится закваска микроводорослей, которой, по расчетам, хватит на 100 лет. Водоросли активно продуцируют кислород и фитонциды. В результате окисляется и разрушается основная масса примесей и уничтожаются бактериальные загрязнения. Процесс очистки стоков животноводства в БОКС-прудах идет в четыре раза быстрее, чем в проточных прудах, и не зависит от времени года.

Есть у проблемы бессточных производств еще одна существенная сторона. В оборотном цикле из воды удаляются сырье, конечные продукты, всякого рода загрязнения, а вот соли остаются, накапливаются. Ни механической, ни биологической очисткой, ни адсорбцией их удалить нельзя. Чтобы снизить минерализацию оборотных вод, часть их все же сбрасывают в водоемы. Это так называемые продувочные воды.

В Украине разрабатываются опреснительные методы по всем основным направлениям: и традиционные методы дистилляции и ионного обмена, и более новые – электродиализ и обратный осмос.

Опреснительные методы – методы обессоливания воды – достаточно широко развиты во многих странах. Но, как правило, опреснительные установки нацелены лишь на получение пресной воды. Они обычно строятся в приморских районах и отработанные рассолы сбрасывают в море.

В условиях же Украины решается проблема комплексной переработки солоноватых шахтных вод с получением солей, микроэлементов, а также обессоленной воды, пригодной для промышленного использования и орошения земель.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОДХОД

Слово берет наука

На современном уровне развития науки и техники уже разрабатывается ряд действенных мер, призванных воспрепятствовать дальнейшему загрязнению водных ресурсов планеты. Это и утилизация отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, и переход на безотходные технологические процессы, и борьба с загрязнениями, связанными с развитием водного транспорта, и многое другое.

Однако, уже теперь, не дожидаясь полного осуществления этих преобразований, необходимо надежно обеспечить высокие качественные показатели воды для питья, а также для ряда новых отраслей техники.

Для правильного решения этой проблемы есть пока один наиболее надежный путь — обобщение и систематизация накопленных знаний и создание строго научного представления о воде и методах ее очистки, основанного на глубоком понимании общих закономерностей, которым подчиняются протекающие в водной среде процессы. Необходимо развивать и использовать наиболее рациональную технологию обработки воды.

Следует отметить, что в настоящее время технология обработки воды как научно-техническое направление все еще значительно отстает от запросов практики. Она рассматривает лишь отдельные аспекты проблемы очистки воды и до сих пор не является универсальной.

В технике водоочистки еще недавно считали необходимым вести борьбу главным образом с мутностью, цветностью, солями жесткости и в особых случаях с примесями, придающими воде привкус и запах, а также с болезнетворными микроорганизмами. Развитие промышленности, сельского хозяйства и создание водохранилищ вызывает попадание в воду рек, озер и морей веществ, которые подчас трудно определить при помощи анализа.

Все новые аналитические методы разрабатываются для контроля за содержанием загрязненной воды, изыскиваются все более совершенные и разнообразные методы удаления их, однако в то время, когда все усилия специалистов направлены на борьбу с известными загрязнениями, появляется все больше новых примесей, степень ядовитости которых не установлена. В результате вода очищается не всегда полноценно.

Поэтому первоочередной задачей является создание научно обоснованной системы, которая раскрыла бы зависимость процессов и методов удаления примесей от их состояния и физико-химических свойств. Другими словами, необходимо опираться на обобщающие, закономерные связи между физико-химической характеристикой примесей воды и технологическими приемами ее обработки.

Однако в существующих гидрохимических системах классификации природных вод до сих пор учитывался только химический состав примесей. Поэтому при прогрессирующем загрязнении водоемов промышленными стоками и при увеличении числа примесей с различными свойствами эти классификации не отражали действительного состояния вопроса и не содействовали изысканию приемлемых практических решений.

Итогом многих научных поисков явилось создание нового теоретического направления. Оно обосновывает процессы удаления целых классов органических и неорганических соединений, которые составляют основную массу загрязнений природных и сточных вод. Новая теория вооружила исследователей и практиков падежными методами борьбы не только с различными загрязнениями водоемов, но и с развивающимися в водной среде опасными для человека микроорганизмами, с сине-зелеными водорослями и

Таблица 1.1.

Классификация примесей воды и методы их контроля и удаления				
Фазовая характеристика	Гетерогенные системы		Гомогенные системы	
Группа	I	II	III	IV
Формы нахождения веществ в водоемах	Взвеси	Золи и высокомолекулярные соединения	Молекулярно-растворимые вещества	Вещества, диссоциированные на ионы
Размер, мкм	1…10	10-1…10^{-2}	10-2…10^{-3}	10-3…10^{-4}
Характерные представители загрязнений	Крупная взвесь Тонкая взвесь Планктон Бактерии	Органо-минеральные комплексы Гумусовые вещества Вирусы	Летучие вещества и газы Органические вещества Вещества, продуцируемые микроорганизмами	Катионы и анионы минеральных и органических соединений
Методы удаления примесей из воды	Механическое разделение	Ультрафильтрация Коагуляция Флотация	Гиперфильтрация	
			Десорбция газов и летучих веществ, эвапорация труднолетучих веществ	Перевод ионов в малорастворимые соединения
	Окисление хлором, озоном, перманганатом			
	Адгезия на гидроксидах, зернистых и высоко-дисперсных материалах	Адсорбция на гидроксидах и дисперсных минералах	Адсорбция на активированных углях и других материалах	Фиксация на твердой фазе ионитов
	Агрегация при помощи флокулянтов (анионных и катионных)		Ассоциация молекул	Моляризация и комплексообразование
	Флотация		Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
	Электролиз синезеленых водорослей	Электрофоретические методы		Использование подвижности ионов в электрическом поле
	Бактерицидное воздействие	Вирулицидное воздействие	Биохимический распад	
Методы группового контроля	Микроскоп Ультрамикроскоп	Электронный микроскоп		Электропроводность
	Раздельные на фильтрах	Диализ	Гиперфильтрационные мембраны	
	Седиментационный анализ	Релеевское рассеяние	Поглощение света в ультрафиолетовой и видимой областях	

продуктами их жизнедеятельности. Она дала простой и качественно новый подход к технологическим решениям и разработке методов очистки воды. В основу этой теории была положена связь между физико-химическим состоянием примесей, находящихся в воде, и технологическими процессами их удаления.

Четкая классификация загрязнений

Исходя из анализа закономерностей, которым подчиняются процессы очистки воды, все примеси и загрязнения были сгруппированы по признаку их физико-химического состояния в воде, которое в значительной степени определяется дисперсностью[1]. Указанное положение дало возможность объединить самые разнообразные по химической и физической характеристикам примеси природных и сточных вод в группы и создать классификацию загрязнений, позволяющую отказаться от поисков специальных методов удаления каждого вещества в отдельности (см. табл. 1.1).

Исходные положения этого нового направления, выдвинутого академиком АН Украины Л.А. Кульским, могут быть вкратце сведены к следующему.

Поведение примесей в водной среде и их отношение к добавляемым в воду реагентам определяются не столько химическими особенностями этих примесей, сколько размерами их частиц и еще в большей степени способностью образовывать с водой однородную или неоднородную систему (гомогенную или гетерогенную). Учет всех этих «внешних» свойств позволяет создать так называемую фазово-дисперсную характеристику примесей воды.

Сопоставление методов, используемых на практике для очистки воды от различных загрязнений, показало, что каждому фазово-дисперсному состоянию примесей соответствуют определенные технологические приемы и методы их удаления.

Все загрязнения природных и промышленных вод могут быть объединены в несколько групп, принадлежность к которым уже предопределяет технологию водоочистки.

Способность многих веществ изменять в водной среде фазово-дисперсное состояние под влиянием таких факторов, как солевой состав, кислотность, температура воды и др., открывает возможность переводить вещества из одной группы в другую и таким образом широко разнообразить технологические приемы и методы регулирования процессов обработки воды.

При всем многообразии примесей за основу принимается прежде всего отношение их к дисперсионной среде, то есть к воде. По этому признаку все вещества делятся на четыре группы: две гетерогенные, в которых частицы примесей не полностью смешиваются с водой, и две гомогенные, дающие с водой так называемые истинные растворы. К первым относятся вещества, присутствующие в воде в виде взвесей, коллоидов и высокомолекулярных соединений, ко вторым – вещества, находящиеся в воде в виде молекулярных и ионных растворов.

Средний размер частиц примесей, начиная от наиболее низкодисперсных взвесей, относящихся к первой группе, при переходе к каждой последующей группе (то есть к более высокодисперсным) уменьшается примерно в 10 раз.

Такая система расположения групп по принципу повышающейся дисперсности примесей целесообразна с точки зрения технологии, так как очистка воды обычно начинается с удаления грубодисперсных примесей и коллоидно-дисперсных веществ. Методы удаления этих загрязнений являются общепринятыми: они широко применяются на очистных сооружениях промышленных и коммунальных водопроводов и цехов очистки промышленных стоков. Способы извлечения из воды молекулярных и ионных примесей относятся к специальным методам ее очистки и используются как дополнительные к основному технологическому комплексу водообработки.

---

[1] Дисперсность – характеристика размеров частиц в физико-химических системах, состоящих из измельченных частиц (дисперсная фаза), распределенных в окружающей среде (дисперсионная среда).

Всего четыре группы

Примеси каждой группы обладают специфическими особенностями, и потому для их удаления требуются определенные технологические приемы водоочистки и контроля, независимо от их количеств и степени изученности.

В первую группу входят нерастворимые в воде примеси, величина частиц которых 10^{-4} см и больше, образующие в воде так называемые взвеси. Взвеси обусловливают мутность воды, а в некоторых случаях и ее цветность. Сюда относятся глинистые вещества, карбонатные породы (мел, гипс), ил, мелкий песок, малорастворимые гидроксиды металлов, некоторые органические вещества, планктон и т.д.

Среди взвешенных частиц могут присутствовать бактерии (в том числе болезнетворные) и вирусы. На поверхности частиц могут находиться радиоактивные вещества, и сами взвеси иногда являются токсическими соединениями. Полнота удаления этих примесей из воды зависит от степени ее осветления.

Системы, образованные примесями первой группы, кинетически неустойчивы: нерастворимые вещества удерживаются во взвешенном состоянии динамическими силами потока воды. Они попадают в водоемы в результате размывания окружающих пород и смыва почв. Интенсивность оседания примесей зависит от свойств системы.

В состоянии покоя они оседают, образуя осадки различной плотности.

Для удаления примесей этой группы используют физико-химические процессы, рассчитанные на выведение из воды веществ, начиная от тонких взвесей и кончая крупными частицами. Это процессы адгезии (прилипание примесей к поверхности сорбентов и зернистых инертных материалов), агрегации и седиментации (укрупнение частиц при помощи специальных реагентов с последующим осаждением), флотации (всплывание на поверхность воды в результате образования насыщенных газами сгустков). С этой целью применяют механические способы – отстаивание, микропроцеживание, фильтрование и др.

Вторая группа объединяет примеси, находящиеся в коллоидном состоянии и в виде высокомолекулярных соединений. Это кристаллические или аморфные вещества. Высокомолекулярные вещества представлены линейными, спиральными и разветвленными макромолекулами различной степени гибкости. Размер частиц таких примесей (степень дисперсности) составляет $10^{-5}...10^{-6}$ см. К примесям, образующим вторую группу, относятся минеральные и органо-минеральные частицы почв, различные формы гумусовых веществ, которые придают воде окраску. Гумус вымывается из лесных, болотистых и торфяных почв в природные водоемы или образуется в самих водоемах в результате жизнедеятельности водных растений.

В щелочной среде соли этих соединений, образованные щелочными металлами, хорошо растворяются в воде. Их можно рассматривать как электролиты, и для очистки от них воды используют те же процессы, что и для очистки от загрязнений четвертой группы (см. далее). В нейтральной и слабокислой средах отдельные молекулы гумусовых кислот укрупняются благодаря межмолекулярному координированию их полярных групп и образуют коллоидные системы.

К этой же группе могут быть отнесены вирусы и другие микроорганизмы, в том числе болезнетворные (патогенные) бактерии, которые по своим размерам приближаются к коллоидным частицам, удаление их из воды чрезвычайно важно.

Примеси, входящие во вторую группу, характеризуются особыми молекулярно-кинетическими свойствами, а вследствие более мелких размеров их самопроизвольное оседание крайне затруднено. Чтобы ускорить этот процесс, в воду добавляют специальные вещества – коагулянты. При содействии последних примеси теряют свою устойчивость в растворе, слипаются, укрупняются и выпадают в осадок в виде хлопьев. После этого их можно удалить из воды. Предварительное применение больших доз хлора, озона или других окислителей повышает качество обрабатываемой воды, так как при этом устраняются вещества, придающие ей цветность, гибнут микроорганизмы и, что особенно важно, улучшается протекание процессов укрупнения частиц и их оседания.

При исследовании процессов водоподготовки ученые установили, что существуют вещества, которые могут значительно повысить и ускорить действие коагулянтов. Такие вещества названы флокулянтами. Один из наиболее действенных флокулянтов, по составу родственный обыкновенному песку, – активная кремнекислота. Небольшие количества этого вещества (до 5% от дозы коагулянта) ускоряют образование хлопьев, способствуют более быстрому и полному оседанию их.

В третью группу входят растворенные в воде газы и органические соединения – как биологического происхождения (например, гуминовые кислоты и вульвокислоты), так и вносимые со стоками промышленных предприятий и населенных пунктов (различные продукты жизнедеятельности и отмирания плесневых грибов, бактерий, водорослей, а также фенолы и другие органические соединения). Вещества третьей группы придают воде самые разнообразные привкусы и запахи, а иногда и окраску. Размеры этих веществ – $10^{-6}...10^{-7}$ см. В процессе очистки воды они ведут себя как молекулярнорастворимые, хотя многие из них при иных условиях легко образуют коллоидные системы и даже взвеси. Примеси, относящиеся к третьей группе, являются гомогенными системами. Некоторые из них, вносимые сточными водами, токсичны.

Молекулы растворенного соединения могут существенно изменять взаимодействие между молекулами воды и сами взаимодействовать между собой не так, как в чистом веществе. Кроме того, они могут связываться с водой химически, образуя прочные или легко диссоциирующие соединения, существующие лишь в растворе. Обычно основную роль в них играет водородная связь.

Нередко в воде растворены газы, не вступающие с ней в химические реакции, например кислород, азот, метан, благородные газы и др. Тогда их поведение подчиняется общим физическим закономерностям для таких систем, например, уменьшается растворимость с ростом температуры воды и т.д. Другие газы образуют с водой химические соединения. Аммиак (гидроксид аммония) – соединение щелочного характера. Сероводород и оксид углерода (IV) придают воде кислотные свойства. Таким образом, свойства каждой конкретной системы, относящейся к данной группе, зависят в известной мере и от химических особенностей входящих в нее компонентов.

Наиболее эффективными процессами удаления из воды веществ третьей группы являются аэрирование, окисление, адсорбция.

Растворенные в воде газы и летучие органические вещества (легкие бензины, некоторые органические сернистые соединения, низкомолекулярные эфиры, карбонильные соединения и др.) удаляются аэрированием воды – продуванием сквозь нее мелких пузырьков воздуха.

Растворенные в воде одно- и многоатомные фенолы, большинство продуктов органического синтеза, гуминовые кислоты и вульвокислоты разрушают действием сильных окислителей.

Многие вещества, входящие в данную группу, выводятся из воды с помощью активированных углей. Применение последних основано на том, что молекулы растворимых в воде примесей вступают во взаимодействие с высокопористой поверхностью углей и более или менее прочно на ней закрепляются (сорбируются). Как известно, на активированном угле хорошо сорбируются гидрофобные соединения, к которым относятся углеводороды нефти, ароматические углеводороды и их производные (хлорфенол), хлорированные углеводороды и другие соединения, растворяющиеся в воде в небольших количествах.

Для адсорбционного извлечения из воды низкомолекулярных соединений можно применять мелкопористые угли, для удаления веществ с более крупными молекулами, например гуминовых кислот и вульвокислот, – крупнопористые угли либо специальные ионообменные материалы гранулированной или волокнистой структуры.

Четвертая группа объединяет вещества, диссоциирующие в воде на ионы. Это преимущественно соли неорганических кислот – очень распространенные, почти обязательные компоненты примесей всех природных вод. Степень их дисперсности составляет $10^{-7}...10^{-8}$ см.

При выборе метода удаления нежелательных ионов следует учитывать, что реакции между ионами практически необратимы, если в

результате их взаимодействия образуется вещество в виде газа, осадка или малодиссоциированного соединения.

Техника очистки воды от примесей, входящих в четвертую группу, сводится к связыванию ионов, подлежащих удалению, в малорастворимые или слабодиссоциированные соединения.

Применяют также ионообменные реакции, протекающие на поверхности твердой фазы (на ионообменных смолах). Такие процессы целесообразны в тех случаях, когда удаляемые ионы необходимо удержать на нерастворимом в воде материале, заменив их безвредными ионами. Освобождение воды от ионных примесей можно осуществлять также переводом ее в твердую фазу (вымораживание, образование газгидратов), добавлением не смешивающегося с водой вещества для образования двух слоев – воды и растворителя. В последнем и скапливаются эти примеси. В некоторых случаях целесообразно применять метод электродиализа, основанный на увеличении направленной подвижности ионов в электрическом поле, благодаря чему облегчается их удаление из воды.

Что дает новый метод

Для каждой из четырех групп можно находить совокупность эффективных мер воздействия, приводящих к изменению фазово-дисперсного состояния примесей воды в желаемом направлении. Это обстоятельство весьма существенно, поскольку такие превращения являются целью большинства технологических процессов удаления загрязнений. Между фазово-дисперсным состоянием веществ, загрязняющих воду, и выбором совокупности методов их удаления существует зависимость. При этом конкретные способы наиболее целесообразного ведения процесса определяет химическая природа примесей.

Описанная классификация примесей воды по их фазово-дисперсному состоянию дает возможность более целенаправленно и конкретно подойти к определению основных показателей качества воды, выработать меры по контролю этих показателей и на основе этого выбрать рациональную компоновку очистных сооружений и эффективное управление технологическими процессами водообработки. Многие технологические разработки, основанные на теоретических положениях, вытекающих из данной классификации, уже прошли проверку на автономных установках различной производительности. Найдена рациональная компоновка сооружений, позволяющая обеспечить удаление не только наличных, но и предполагаемых примесей. Это делает возможным переход к созданию технологических схем для водообработки любых крупных объектов. И, что особенно важно, – классификация примесей воды по их фазово-дисперсному состоянию может стать научной основой стандартизации в области технологии очистки воды, так как она не только концентрирует в себе достижения науки, техники и практического опыта, но и определяет перспективу развития в данной области.

Список рекомендованной литературы

Арабаджи В.И.
Загадки простой воды.
М., Знание, 1973, 95 с.

Барбье М.
Введение в химическую экологию.
М., Мир, 1978, 229 с.

Богданов Д.В.
Тропический океан.
М., Наука, 1975, 80 с.

Долгополов К.В., Федорова Е.Ф.
Вода – национальное достояние.
М., Мысль, 1973, 256 с.

Киссин И.Г.
Вода под землей.
М., Наука, 1976, 224 с.

Классен В.И.
Вода и магнит.
М., Наука, 1973, 111 с.

Кульский Л.А.
Вода, ее использование в настоящем и будущем.
К., Знание, 1977, 48 с.

Кульский Л.А.
Перспективы стандартизации технологических процессов.
К., Знание, 1979, 19 с.

Кульский Л.А., Даль В.В.
Проблема чистой воды.
К., Наукова думка, 1974, 230 с.

Кульский Л.А., Даль В.В.
Чистая вода и перспективы ее сохранения.
К., Наукова думка, 1978, 228 с.

Кульский Л.А.
Серебряная вода.
К., Наукова думка, 1982, 151 с.

Кусто Ж.-И., Диоле Ф.
Жизнь и смерть кораллов.
Л., Гидрометеоиздат, 1975, 175 с.

Мухачев В.М.
Живая вода.
М., Наука, 1975, 143 с.

Петрянов И.В.
Самое необыкновенное вещество в мире.
М., Педагогика, 1975, 95 с.

Семененко Н.П.
Континентальная кора.
К., Наукова думка, 1975, 198 с.

Фюрон Р.
Проблема воды на земном шаре.
Л., Гидрометеоиздат, 1966, 256 с.

Хейердал Т.
Уязвимое море.
Л., Гидрометеоиздат, 1973, 15 с.